Environmental Protection Series

Recovery of Proteins and Fats Lost in the Dairy Industry

Report EPS 3/FP/2
January 1991

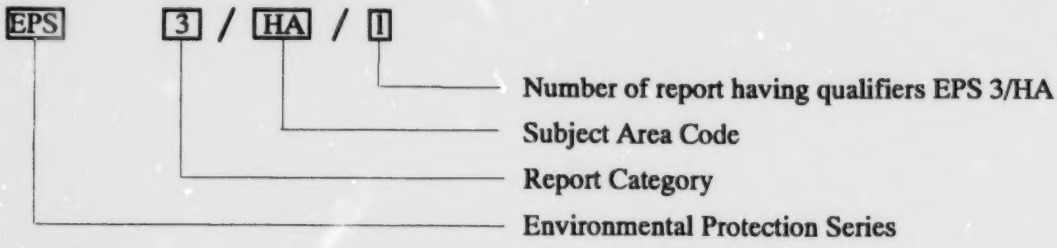
PRINTED IN CANADA

Canada

Environment Canada | Environnement Canada

ENVIRONMENTAL PROTECTION SERIES

Sample Number:



Categories

1 Regulations/Guidelines/Codes of Practice
2 Problem Assessments, and Control Options
3 Research and Technology Development
4 Literature Reviews
5 Surveys
6 Social, Economic and Environmental Impact Assessments
7 Surveillance
8 Policy Proposals & Statements
9 Manuals

Subject Areas

AG Agriculture
AN Anaerobic Technology
AP Airborne Pollutants
AT Aquatic Toxicity
CC Commercial Chemicals
CE Consumers and the Environment
CI Chemical Industries
FA Federal Activities
FP Food Processing
HA Hazardous Wastes
IC Inorganic Chemicals
MA Marine Pollution
MM Mining and Ore Processing
NR Northern and Rural Regions
PF Paper and Fibres
PG Power Generation
PN Petroleum and Natural Gas
RA Refrigeration and Air Conditioning
RM Reference Methods
SF Surface Finishing
SP Oil and Chemical Spills
SRM Standard Reference Methods
TS Transportation Systems
TX Textiles
UP Urban Pollution
WP Wood Protection/Preservation

New subject areas and codes are introduced as they become necessary. A list of EPS reports may be obtained from Environmental Protection Publications, Conservation and Protection, Environment Canada, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0H3

Think Recycling!

Pensez à recycler !

This publication is printed on paper containing recovered waste.

Recovery of Proteins and Fats Lost in the Dairy Industry

by

Inipex Inc.
Fleurimont, Quebec

Poseidon Inc.
Longueuil, Quebec, and

Agrinove Dairy
Sainte-Claire de Dorchester, Quebec

for the

Technology Development Branch
Environmental Protection
Conservation and Protection
Environment Canada

This project was conducted under the Development and Demonstration of Resource and Energy Conservation Technology (DRECT) Program

Report EPS 3/FP/2
January 1991

91-03266/

Canadian Cataloguing in Publication Data

Main entry under title:

Recovery of proteins and fats lost in the dairy industry

(Report ; EPS 3/FP/2)
Text in English and French with French text on inverted pages.
Title on added t.p.: La récupération des protéines et des matières grasses perdues dans l'industrie laitière.
ISBN 0-662-58150-4
DSS cat. no. En49-17/3-2

1. Dairy waste. 2. Dairying -- Canada -- Waste disposal. 3. Agricultural wastes -- Canada. I. Inipex Inc. II. Poseidon Inc. III. Agrinove Dairy. IV. Canada. Technology Development and Technical Services Branch. V. Canada. Environment Canada. VI. Title: La récupération des protéines et des matières grasses perdues dans l'industrie laitière. VII. Series: Report (Canada. Environment Canada) ; EPS 3/FP/2.

TD899.D3R42 1991 363.72'88 C91-098545-6E

©Minister of Supply and Services Canada 1991
Catalogue No. En 49-17/3-2
ISBN 0-662-58150-4
BEAUREGARD PRINTERS LIMITED

Review Notice

This report has been reviewed by the Technology Development Branch of Environment Canada, and approved for publication. Approval does not necessarily signify that the contents reflect the views and policies of Environment Canada. Mention of trade names or commercial products does not constitute recommendation or endorsement for use.

Readers' Comments

Readers who wish to comment on the contents of this report should address their comments to:

S.A. Ross
Technology Development Branch
Conservation and Protection
Environment Canada
River Road Environmental Technology Centre
Ottawa, Ontario K1A 0H3

Additional copies of this document can be obtained from:

Environmental Protection Publications
Technology Development Branch
Conservation and Protection
Environment Canada
Ottawa, Ontario K1A 0H3

Abstract

Milk wastes from the dairy industry (i.e., pollution from dairy plants) amount to approximately 0.5 to 2.5% of the total incoming milk. This percentage can be as high as to 3 to 4% in certain plants which in turn corresponds to a loss of 15 days of production per year.

Conventional aerobic treatment of dairy wastes requires significant investment in both capital and operating costs which can put a strain on the dairy's operating budget. Conventional treatment also produces large quantities of sludge which are difficult to dewater and dispose of. Application of the sludge to agricultural lands actually regresses the value of the by-product from an animal protein to plant protein. The same is true for the anaerobic treatment of dairy wastes which converts noble matter (proteins) into a less valuable substance (methane gas).

The process outlined in this report allows for the recovery of proteins and fats lost in rejects from a dairy plant operation. On a dry weight basis, proteins averaged 50% of the recovered product and fats averaged approximately 30%. Lactose is not included as part of the recovered material. The recovered proteins can be used as feed for a variety of farm animals such as hogs and calves and have been successfully used to feed fish, and domestic pets. There is also great potential for the use of recovered proteins as feed for fur-bearing animals to improve the quality of their fur.

Table of Contents

Abstract v
List of Figures ix
List of Tables x
Summary xi

Section 1
Introduction 1

Section 2
Wastewater Treatment at the Agrinove Cooperative 3

Section 3
Reduction of Wastewater Flows 4
3.1 Segregation of Wastewaters 4
3.2 At Source Recovery of Concentrated Wastewaters 4
3.3 Net Loadings After Segregation and Recovery Operations 5

Section 4
Protein Recovery Process 7
4.1 Laboratory Tests 7
4.2 Pilot Tests 7
4.3 Full-scale Protein Recovery Facility 10

Section 5
Biological Wastewater Treatment at the Agrinove Dairy ... 15

Section 6
Markets for Recovered Proteins 16
6.1 Analyses 16
6.2 Nutritional Tests 16
6.2.1 Hog Feeding 16
6.2.2 Calf Feeding 19
6.2.3 Aquaculture 19
6.3 Protein Shampoos 20
6.4 Markets 20

Section 7
Economic Aspects 22
7.1 Investment Cost for a Protein Recovery Facility 22
7.2 Operating Costs 22
7.3 Economic Comparisons 23

Section 8
Applications of the Process **27**
8.1 Industrialized Countries **27**
8.2 Developing Countries **27**
8.3 Recovery of Whey Proteins **28**

Appendix
Distribution of Water Flow Rates by Category of Product Manufactured **29**

List of Figures

1	Reduction in Chemical Oxygen Demand Versus Wastewater Concentration	8
2	Protein Recovery Versus Wastewater Concentration	8
3	Protein Recovery Process	9
4	Protein and Lactose Content of Various Products	16
5	Nutritional Results for Fish	19
6	Effects of Various Foods on Cannibalism	20
7	Comparison of Operating Costs	26

List of Tables

1	Mean Wastewater Characteristics at the Agrinove Dairy	2
2	Comparative Investment for the Segregation of Uncontaminated Wastewater	5
3	Loads Recoverable from Individual Sources	5
4	Characteristics of the Rejects from the Plant at Full Production Capacity	6
5	Analysis of the Proteins Recovered in the Laboratory	9
6	Protein Recovery Versus the Chemical Oxygen Demand of the Water to be Treated	10
7	Pretreatment Results	11
8	Full-scale Protein Recovery: Preliminary Investigation (May 1986)	12
9	Evaporation and Drying Tests	13
10	Recovered Liquid Proteins	14
11	Average Analysis of Recovered Powdered Proteins	17
12	Distribution of Amino Acids in Recovered Proteins	17
13	Distribution of Fatty Acids in Recovered Proteins	18
14	Mineral Analysis of Recovered Powdered Proteins	18
15	Classification of Treatment Plant Sizes	24
16	Protein Recovery and Biological Treatment - Total Investment	25
17	Biological Treatment Without Protein Recovery - Total Investment	25
18	Operating Costs for the Aerated Lagoon, the Activated Sludge, and Protein Recovery	25

Summary

(1) Milk losses from a dairy amount to an average of 0.5 to 2.5% of the incoming milk, and can range up to 3 or 4%. The latter case represents 15 days of lost production per year.

(2) Wastewater flow rates for dairies cannot be correlated with the quantities of milk treated.

(3) Segregating uncontaminated water in a dairy plant can reduce wastewater flow rates by as much as 30% of the original volume.

(4) Collecting concentrated rejects at source and routing them to a pretreatment process instead of disposing of them directly into a sewer can result in economic benefits to the dairy.

(5) At the Agrinove dairy, pretreatment of the concentrated rejects was accomplished by means of a protein recovery process which resulted in chemical oxygen demand (COD) reductions of 50 to 75%. The size of the final treatment facility was reduced as a result of this pretreatment process.

(6) The pretreated wastewater was virtually limpid and had no adverse effects on the downstream biological treatment process.

(7) Products recovered in the pretreatment process were richer in protein (50%) than the usual dairy products (e.g., skim milk, 35%, whole milk, 27%; whey, 12%).

(8) The protein recovery facility was compact and fully automatic. The surface area required for a biological treatment facility without pretreatment at the Agrinove site would have been 5 to 10 times larger.

(9) The biochemical oxygen demand/nitrogen/phosphorus (BOD_5/N/P) ratio of the pretreated wastewater entering the biological treatment process was 200/5.3/5.4 (i.e., above the minimum levels required for extended aeration (200/5/1) in a dairy using phosphoric acid for washing).

(10) No bulking sludge has been observed during a five-year observation period of the biological treatment system receiving effluent from the protein recovery process.

(11) The protein recovery process reached equilibrium a few hours after start-up, whereas a conventional biological process may take several weeks to reach equilibrium.

(12) The low lactose content (7.2%) in recovered proteins made them more digestible by monogastric organisms than powdered skim milk which contains 54% lactose, or whey, which contains 77% lactose.

(13) Recovered proteins accelerated the growth of hogs, improved their health and resulted in the hogs producing a smaller quantity of manure.

(14) Other protein markets include feed for calves, fur-bearing animals, and domestic birds. The manufacturing of protein hydrolysates (e.g., protein shampoos and cosmetics) is also a viable market.

(15) Recovered proteins can be used to prepare delicate food for aquaculture.

(16) A protein recovery facility capable of treating 120 m^3/d would cost \$95 100, whereas the cost of a facility capable of treating 1200 m^3/d would be \$160 700 (1988 dollars).

(17) The process is applicable to all dairy plants, regardless of whether they are equipped with conventional treatment facilities, or whether they are located in industrialized or developing countries.

(18) With some changes, the process can be used to recover whey proteins.

(19) The process is profitable even if the recovered proteins are not used. The cost of eliminating pollution in this manner is lower than that incurred when using conventional treatment methods.

Section 1

Introduction

The Agrinove Dairy Cooperative in Beauceville, Québec has a nominal milk production capacity of 545 000 L/d. On average, the plant produces 1 300 t of cheddar, 10 000 t of powdered skim milk, 1 900 t of whey powder, 161 t of whey butter, and 10 000 t of cream annually. The plant is in continuous operation from May to October, and runs 20 h/d and 5 d/wk from November to April.

In 1983, the mean volume of milk received over a five-day period was: total milk, 338 000 L; milk converted into powder, 269 000 L; and milk converted into cheese, 69 000 L. The mean characteristics of wastewater effluent over the same time period are presented in Table 1.

In May, 1984, laboratory studies involving wastewater treatability of the various process waters commenced. The results of this phase served as a base for a brief pilot-plant test in the autumn of 1984. The success of the pilot program led to a full-scale test program from November 26 to December 14, 1984. Construction of the prototype facility began in January 1985 and a full-scale facility became operational on July 1, 1985.

Between September 1, 1986 and August 31, 1987, the plant received 117 922 794 L of milk. If one considers that a year represents 310 days of production, the dairy received a mean milk production volume of 380 000 L/d. Over this same period, 11.86% of the incoming milk (i.e., 13 985 643 L) was made into cheese; the remaining 88.14% (i.e, 103 937 150 L) was converted into powdered skim milk. Cream extracted from the milk was shipped to another plant.

Table 1 Mean Wastewater Characteristics at the Agrinove Dairy*

Parameter	Value
pH	11.4
Flow rate	398 m^3/d
Mean peak flow coefficient	2.43
Maximum peak coefficient	3.8
Minimum peak coefficient	1.5
BOD_5	420 kg/d or 1 055 mg/L
Chemical oxygen demand (COD)	940 kg/d or 2 360 mg/L
COD/BOD_5	2.24
Suspended Solids (SS)	140 kg/d or 350 mg/L
Fats	76 kg/d or 190 mg/L
Total phosphorus (as P)	31.6 kg/d or 79 mg/L
Ammonia (as N)	2.44 kg/d or 6 mg/L
Organic nitrogen (as N)	33.6 kg/d or 85 mg/L
$BOD_5/N/P$	100/8.63/7.5 or 200/17.2/15.0

* Data collected over a five-day period (1983).

Section 2

Wastewater Treatment at the Agrinove Cooperative

The project discussed in this report came under a wastewater treatment program implemented by the Agrinove Cooperative and Environnement Québec. The areas of concern within the plant and the associated environmental objectives of the program were stipulated as follows:

Process Wastewaters. Process wastewaters are liquid effluents that cannot be reused to prepare finished products. They normally contain whey, buttermilk, separator sludge, pipe bleed-off, first rinse-waters from certain equipment, or any other fluid with a high concentration of organic matter. These wastewaters are considered to be contaminated waters and must be segregated from uncontaminated waters and handled separately.

Process wastewaters which cannot be recovered at the source must be treated to achieve acceptable monthly mean concentrations for biochemical oxygen demand (BOD_5) and suspended solids (SS) of 30 mg/L from March 21 to November 21 and 60 mg/L from November 21 to March 21. These standards represent the monthly mean of four daily instantaneous effluent samples collected per month. For each month from March 21 to November 21, the BOD_5 and SS concentrations may not exceed 60 mg/L in any one of the daily samples. For each month from November 21 to March 21, the BOD_5 and SS concentrations may not exceed 90 mg/L in any one of the daily samples. The acceptable limit for oil and grease is 15 mg/L and the pH must be between 5.5 and 9.5. With respect to phosphorus, there is no specific limit at the present time. However, cleaning solutions used in equipment washings must be recirculated to the maximum and the use of phosphates shall be reduced to a minimum.

Uncontaminated Water. All uncontaminated water must be recirculated, reused in other operations (e.g., washing), or disposed of separately via drainage ditch or storm sewer. Uncontaminated waters may include boiler water, distilled water from evaporators, water used in the rinsing of equipment, and cooling water.

Sanitary Wastewater. Sanitary wastewater must be treated in conjunction with process wastewaters.

The wastewater control program at the Agrinove dairy was completed in three distinct phases, namely:

(i) reduction of wastewater discharges/ segregation of contaminated waters from uncontaminated waters,

(ii) pilot test of a pretreatment/protein recovery process, and

(iii) design and construction of a biological treatment facility.

Section 3

Reduction of Wastewater Flows

3.1 Segregation of Wastewaters

To reduce the investment cost of the wastewater treatment system, the flow of water discharged by the dairy plant had to be reduced as much as possible by segregating uncontaminated waters from process wastewaters and, where possible, by reducing water consumption in the plant.

Uncontaminated wastewaters from the following sources were identified in a 1984 survey of Agrinove dairy operations. At the time of the survey, these waters were mixed with process wastewaters prior to discharge from the plant.

Boiler plant	158 m^3/d
Distilled water from the evaporators	43 m^3/d
Truck washing	92 m^3/d

In the case of boiler water, segregation from the process wastewater stream involved simple gravitational diversion of the clean water to the storm sewer system. This was accomplished at a cost of $2000. Similarly, gravitational diversion of the water overflow from the evaporators' water system to the storm sewer system was achieved at a cost of $3000.

Water used to wash truck exteriors contained dirt that would complicate the proposed treatement process if mixed with process wastewaters from the dairy plant . By diverting the truck washwater to a sand separator, it was concluded that the problem could be avoided. Liquid effluent from the separator could then be discharged directly to the storm sewer system. This step, which required some rearrangement of the reception area at the Agrinove plant, will be implemented in 1990.

The potential reduction of water consumption by in-plant operations represented a similar opportunity to lower the capital and operating costs of the proposed treatment facility at Agrinove. However, after surveying the various plant processes, it was determined that the only component of the plant operation offering significant potential in reduced water usage was the washing of the evaporation/ pasteurization equipment. By modifying the wash cycles, water consumption was reduced by approximately 50 m^3/d in the plant.

Table 2 summarizes the costs incurred at Agrinove dairy for the segregation and reduction of uncontaminated wastewaters. The last column of the table shows the comparative worth of the various types of segregation. According to the Agrinove survey, the boiler plant water must be diverted first, followed by the distilled water from the evaporator process and then the evaporator washwater. The total investment of $8500 for water segregation is modest compared with the savings generated at the treatment stage, where only half of the flow remains to be treated.

3.2 At Source Recovery of Concentrated Wastewaters

Because the separators, evaporators, and wet collector periodically reject concentrated wastewaters, recovery at source offered the opportunity to maintain these by-products in a concentrated form and at the same time reduce the volumetric loading to the treatment plant. The pollutant loadings from these individual sources for the period from May 28 to June 8, 1984, are presented in Table 3. It

Table 2 Comparative Investment for the Segregation of Uncontaminated Wastewater

	Investment ($)	Percentage Investment (a)	Diverted Water (m^3/d)	Percentage Diverted Water (b)	Benefit Ratio (a/b)
Boiler plant	2000	24%	158	63%	0.37
Distilled water	3000	35%	43	17%	2.00
Evaporator washwater	3500	41%	50	20%	2.10

Table 3 Loads Recoverable from Individual Sources

		COD (kg/d)	COD Loading Daily(%)
Separator	Whey	43	9.65
	Milk	163	
Evaporator		82	3.83
Wet collector		337	15.75

can be seen from the table that this concentrated waste represented almost 30% of the daily pollutant loading from the dairy operation.

3.3 Net Loadings After Segregation and Recovery Operations

The various recommended savings were implemented over time. At the time of writing, the evaporator washwater still had to be segregated and the water used to wash truck exteriors was not yet diverted. The dairy was being modernized while this work was being done, so it was not possible to measure the flows rejected after achieving the recommended savings. For example, the vats used for manual cheese preparation were replaced by automatic curdlers, which resulted in a decrease of a few cubic metres in the daily flow of wastewater from the cheese plant.

Table 4 presents the characteristics of the rejects from the plant when it is operating at full capacity. The figures take into account the fact that the wet collector was temporarily out of service.

Over the past two years, phosphorus in the form of phosphoric acid was emptied into the drains at an average rate of 30.6 kg of phosphorus per day. This value, determined from the phosphoric acid orders, is close to the 31.6 kg of phosphorus per day found during the wastewater investigation conducted in November 1983. Plans have been made to replace the phosphoric acid with nitric acid. However, nitric acid can also create problems. In biological treatment facilities, nitric acid has the disadvantage of

Table 4 Characteristics of the Rejects from the Plant at Full Production Capacity*

	Flow rate (m^3/d)	BOD_5 (kg/d)
Anticipated at Start of Project	1090	990
Current	300	450

* The plant operating at 80 to 100% capacity has little effect on the pollution rejected, which depends mainly on the washing of the units and not on their production time.

causing denitrification, which results in floating sludge. The use of nitric acid could cause equipment corrosion, particularly at the joints. This risk is heightened by the use of chlorine for disinfection. The contact battery effect, common with two different metals, may also occur between a metal and a plastic. A more amorphous plastic material such as Teflon (also more resistant to chemicals, and more costly) must be used so that the joint does not become a galvanic junction.

Section 4

Protein Recovery Process

The Agrinove protein recovery process employs cold coagulation, using chemical reagents, followed by solid/liquid separation by induced air flotation. The chemical reagents are sulphuric acid, and calcium and/or magnesium chloride. The additives used in the process include: alginate, pectin, albumin, agar-agar, gelatine, carob seed extract, and mallow extract. These chemical reagents and additives are all used in the food industry. The selection and relative proportion used depends on the wastewater to be treated.

4.1 Laboratory Tests

Cold coagulation tests were first conducted on 1- to 10-L grab samples of dairy plant effluent at a temperature of 21°C. The COD reductions are plotted in Figure 1. They ranged from 48 to 64% and were highest when the cheese plant was not in production. The proportion of lactose, which is not included in the recovery process, declined in the rejects. The BOD_5 reductions ranged from 54 to 68% in the samples taken. Wastewater effluent grab samples were obtained from a source where the uncontaminated water had not yet been segregated.

Figure 2 demonstrates that protein recovery was not generally directly proportional to the concentration of the effluent to be treated. Although the level of protein recovery in concentrated wastewaters tends to be proportional to effluent concentration, the same linear relationship does not exist for the recovery of protein from dilute effluent. This is due to the presence of uncontaminated water. Figure 2 represents a more exact picture of the suspended solids removed from the wastewaters. The suspended solids that are removed also include the gross volume of protein. The proteins formed a lumpy cream that is normally ivory in colour. Colouring may also result from the dyes used to manufacture cheddar cheese or milk that has caramelized in the evaporators.

At 9 to 10% dry solids, the proteins were not nearly as fluid as skim milk which has the same concentration. It is believed that the lumpy consistency is due to a rupture in the emulsion state during cold coagulation. At this stage, the recovered proteins were unsuitable for any subsequent handling (i.e., they rapidly clogged the dryer nozzles). However, the recovered proteins can be returned to the fluid state by correcting the pH and adding a small amount of whey. Table 5 presents an analysis of the recovered proteins compared with skim milk and whey.

4.2 Pilot Tests

Pilot tests were conducted from November 26 to December 14, 1984, using facilities capable of treating all the wastewater from the dairy. In keeping with the goals of the project, all sanitary wastewaters were diverted from the plant process waters during the tests.

Figure 3 is a flow diagram of the pilot protein recovery process. The process wastewaters discharged by the dairy plant go through a measurement channel (1) before being pumped (2) into a buffer basin (3) that absorbs peak flows and allows for self-neutralization of the acids and bases. The basin was also designed to trap sand. At the same time, microaerophiles are used to promote the biological neutralization of the water. The equalized wastewater is released at a constant rate into a coagulator (4) where the reagents are added. The proteins, fats,

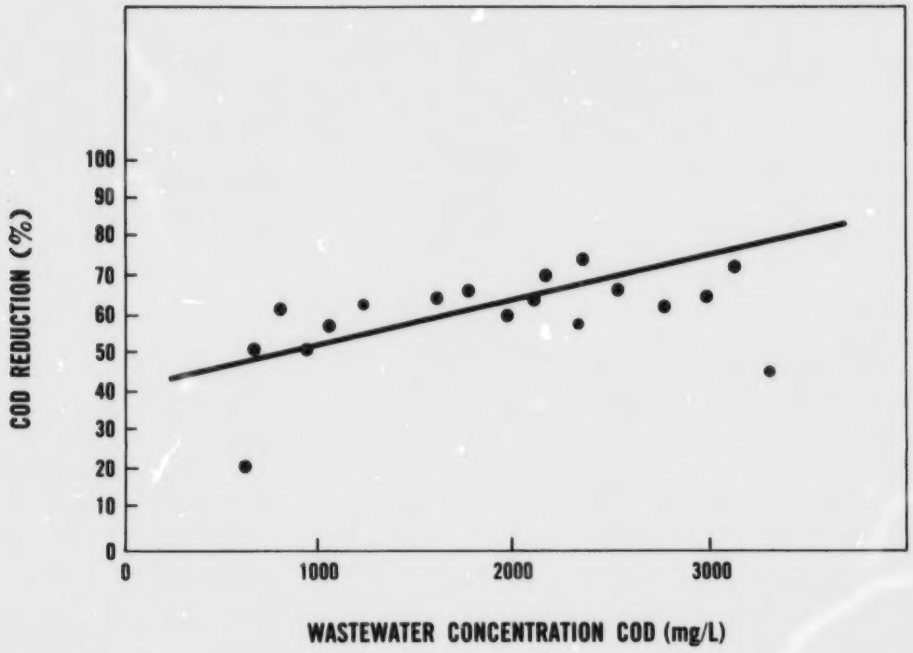


Figure 1 **Reduction in Chemical Oxygen Demand Versus Wastewater Concentration**

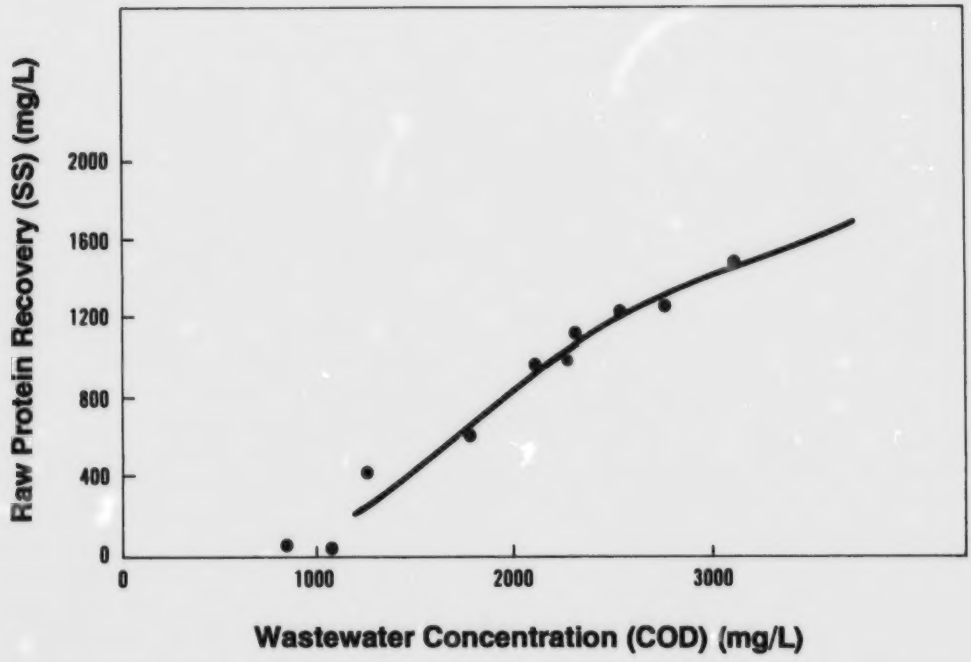


Figure 2 **Protein Recovery Versus Wastewater Concentration**

Note: The above graphs are based on information derived from different wastewater samples.

Table 5 Analysis of the Proteins Recovered in the Laboratory

	Proteins (%)	Fats (%)	Ash (%)*	Lactose (%)
Recovered proteins	60	23	12	5
Skim milk	37.8	1	7.5	53.7
Whey	13	1.5	9	76.5

* This content is partially due to the dicalcium phosphate generated by the treatment.

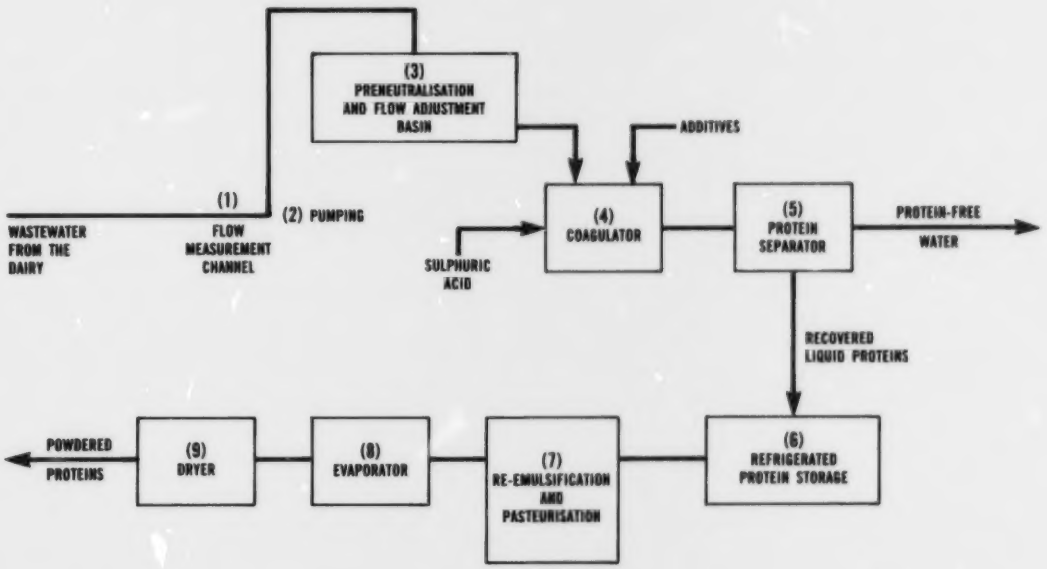


Figure 3 Protein Recovery Process (used at the Agrinove dairy in Beauceville, Québec)

and dicalcium phosphate form a coagulum (i.e., raw proteins). During the final step, wastewater is directed through the separator (5) which separates the raw proteins from the surrounding lactose medium.

The concentration of milk solids in the recovered products is adjustable. A dryness ratio of 23% was obtained in the recovered proteins but a rate similar to that of skim milk is preferred.

After fluidization, the recovered proteins were routed to the evaporator and dryer. The product leaving the evaporator was stable and had a concentration of 38% dry solids. During drying, the product behaved in a manner similar to whey buttermilk.

During the pilot tests, the mean volume of milk received at the dairy was 351 200 L, 310 300 L of which was converted into skim milk powder; the remaining 40 900 L was converted into cheese. The mean daily flow of effluent during the pilot test program was 460 m^3. The quantity of proteins recovered versus the incoming COD was smaller (Table 6) than during the laboratory tests.

Table 6 Protein Recovery Versus the Chemical Oxygen Demand of the Water to be Treated

COD (mg/L)	SS (mg/L)
2070	620
3030	1050
2600	890
2740	850
1900	490

The purification yields determined for five representative samples are presented in Table 7. The samples were taken over a 24-h period from the influent and effluent streams of the pilot facility. The extraction yield for the Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) is close to the net protein recovery rate.

The yields in Table 7 must be corrected by 50 to 85% to account for the proportion of liquid ammonia in the results. Essentially, this ammonia comes from the ammonia solutions used during manufacturing and represents 6.6% of the Total Kjeldahl Nitrogen concentration. Under these conditions, the calculated protein recovery yields were 53.5 to 91% during the tests.

If the protein content is 6.29 times the Total Kjeldahl Nitrogen content (minus the ammonia), the calculated volume of actual recoverable proteins on the day the first sample in Table 7 was taken should have been:

0.056 kg TKN/m^3 x 437 m^3/d x 6.29 kg proteins/kg TKN = 154 kg.

This is equivalent to 256.5 kg of crude proteins which include 60% true proteins. The volume actually recovered that day was 210 kg (2500 L at 8.4%), for a calculated recovery yield of 210 kg/256.5 kg = 82%. This result exceeds the value of 77% determined using water samples. The practical result of 82% is more representative because the lack of precision of this measurement is due solely to the scale used to weigh the recovered proteins. The yields determined using water contained more errors due to the sampling process.

The calcium sulphate generated by the sulphuric acid and the injected calcium salt posed no problem. The concentration of calcium sulphate in the water during treatment was only 300 to 600 mg/L. During evaporation and drying, this calcium sulphate concentration rose above the solubility level of 2000 mg/L. However, the resulting precipitation occurred in a medium with a high concentration of organic matter. This medium acted as a chelating agent similar to the organic matter used to prevent incrustation in steam boilers. When scattered and coated with organic matter, calcium sulphate has no opportunity to cause scaling. However, all of the equipment was cleaned at least once every 20 h. Any sulphate scale that formed during that time could not withstand nitrate washing. Indeed, sulphate scale also contained some carbonate scale that was attacked by the acid, scattering the calcium sulphate crystals.

4.3 Full-scale Protein Recovery Facility

Following the pilot tests, the temporary equipment used for the pilot facility was replaced with definitive equipment. A pasteurizer was added at a later date. The

Table 7 Pretreatment Results

	BOD_5	COD	TKN*	Total P**	Fat
First Sampling (437 m^3/d)					
Influent Wastewater (mg/L)	1140	2070	56	94	120
Pretreated Wastewater (mg/L)	645	1170	28	91	17
Yield (%)	43.4	43.5	50	3.2	85.8
Second Sampling (458 m^3/d)					
Influent Wastewater (mg/L)	1600	3030	85	112	580
Pretreated Wastewater (mg/L)	590	1070	13	95	32
Yield (%)	63	65	85	15	94.5
Third Sampling (467 m^3/d)					
Influent Wastewater (mg/L)	1300	2600	73	66	240
Pretreated Wastewater (mg/L)	550	1060	16.5	54	21
Yield (%)	58	59	77	18	91.3
Fourth Sampling (487 m^3/d)					
Influent Wastewater (mg/L)	1380	2740	84	87	690
Pretreated Wastewater (mg/L)	600	1230	25	54	30
Yield (%)	56.5	55	70	38	95.7
Fifth Sampling (502 m^3/d)					
Influent Wastewater (mg/L)	950	1900	51	48	330
Pretreated Wastewater (mg/L)	530	970	18	41	21
Yield (%)	44	49	65	15	93.6

* TKN = Total Kjeldahl Nitrogen

** Total P = Total Phosphorus

facility is currently housed in a building adjoining the dairy.

An investigation was conducted in May 1986 on the water samples taken before and after pretreatment (Table 8). At that time, a number of uncontaminated water segregation operations were underway but the segregation process was not complete.

Table 9 presents the results of the evaporation and drying tests on recovered proteins. At the time of the investigation, the protein recovery facility was not operating at night or on weekends. Moreover, the reagent injection system was not yet installed and the initial evaporator washwater was diverted to the dryer instead of the sewer. Table 9, therefore, must not be used to determine mass balances. The goal of these tests was to determine the feasibility of producing a powder of consistent quality.

The protein recovery facility became operational in July 1987. Being fully automatic, it became operational as soon as

Table 8 Full-scale Protein Recovery: Preliminary Investigation (May 1986)

	Flow Rate (m^3/d)	BOD_5 (kg/d)	TKN (kg/d)	Total P (kg/d)
Before Pretreatment	275	379	25	17.9
After Pretreatment	275	165	3.5	13.5
Recovery Rate Percentage	----	56.5%	86.0%	24.6%

effluents were produced by the dairy. During the summer, the production of recovered crude proteins was 200 to 250 kg/d. This level declined during the winter to a level of 100 to 150 kg/d (Table 10).

If the quantities of proteins effectively recovered are extrapolated to one year (i.e., 200 to 250 kg/d during the summer and 100 to 150 kg/d during the winter), the annual production of crude proteins expressed as a dry weight will be 50 to 60 t/yr, or approximately 180 kg/d.

It should be noted that the building housing the facility is not heated by any conventional means, even during winter. The heat contributed by the effluent is sufficient to maintain the atmosphere at a comfortable temperature. The heat from this effluent was employed three times in sucession: during processing in the dairy plant, to heat the protein recovery facility and to assist with biological treatment. This efficient use of heat boosts energy use to a higher thermodynamic yield. Thus, the pretreatment process offers the advantage of protein recovery while reducing the investment and operating costs of the treatment facility.

Table 9 Evaporation and Drying Tests

Date of manufacture (d-m-y)	No. of bags	Quantity/ bag (kg)	Fats (%)	Moisture (%) (free water)	Pro-teins (%)	Ash (%)	Mesophilic bacteria/ per gram	Thermophilic bacteria/ per gram	Yeast molds per gram	Coliform Bacteria per gram	pH
16-05-86	15	14	25.5	4.40	59	8.46	7 000	4 600	<1	<1	6.42
23-05-86	21	15	23.0	5.0	50	14.55	20 000	7 000	<1	<1	6.12
30-05-86	18	15	20.3	4.02	55.7	9.07	120 000	9 200	<1	<1	7.2
06-06-86	32	15	23.3	4.36	49.11	13.18	180 000	45 000	<1	<1	6.4
13-06-86	27	15	22.5	6.79	58	9.25	20 000	4 800	<1	<1	6.5
23-06-86	20	15	21.7	6.26	59.74	9.43	51 000	9 900	2	<1	6.73
04-07-86	38	15	38.74	----	42.4	----	140 000	9 000	100	<1	6.9
08-08-86	30	15	17.42	3.55	24.98	7.44	310 000	180 000	5	<1	5.88
14-08-86	64	15	13.54	4.15	30.34	8.91	110 000	260 000	1	<1	5.6
22-08-86	36	15	15.5	4.0	27.6	8.2	-------	-------	---	--	----
29-08-86	21	15	17.5	3.97	35.8	8.27	1 200	10 000	1	<1	5.34
04-09-86	15	25	11.87	8.26	31.0	9.8	5 000	60 000	1	<1	4.90
12-09-86	19	15	31.86	3.48	48.11	10.46	9 000	16 000	<1	<1	6.59
18-09-86	21	15	37.5	5.18	42.94	10.04	20 000	84 000	1	<1	6.51
24-09-86	27	15	34.5	4.6	40.90	8.78	5 000	2 900	<1	<1	6.44
30-09-86	22	15	33.8	4.95	49.3	8.63	6 000	15 000	<1	<1	6.29
06-10-86	27	15	37.2	2.95	43.9	10.28	3 000	3 000	<1	<1	6.0
15-10-86	15	15	32.54	3.90	45.08	13.44	72 000	43 000	<1	<1	6.48
21-10-86	12	15	29.80	4.45	48.53	9.70	16 000	26 000	<1	<1	6.13

Table 10 Recovered Liquid Product

Date (d/m/y)*	Total Recovered (kg)	Lactose (kg)	pH (20°C)	Total Solids (%)	Fats (%)	Proteins (%)	Ash (%)	Crude Proteins per day (kg of dry matter)
26-08-87	6720	--	4.35	6.71	2.39	3.79	0.305	---
27-08-87	4160	--	4.30	5.58	2.32	2.58	0.237	232
25-09-87	5130	--	5.46	9.58	3.53	4.08	0.82	246
13-10-87	3950	40	5.02	7.08	2.80	3.38	-----	140
16-10-87	4660	10	5.25	6.51	2.60	2.80	-----	152
19-10-87	4600	30	4.95	6.56	1.66	3.53	-----	151
23-10-87	4600	20	5.38	6.04	2.64	2.77	-----	139
27-10-87	5420	--	5.02	6.20	2.75	2.49	-----	112
03-11-87	4770	70	5.15	5.69	2.46	2.48	-----	136
25-11-87	6340	50	5.44	6.08	2.31	2.76	-----	128
12-11-87	8610	40	----	----	----	----	-----	----
17-11-87	8730	40	5.38	7.78	4.02	3.14	-----	136
20-11-87	6350	40	4.86	13.38 **	7.05	4.22	-----	283 **
25-11-87	8070	110	5.03	6.64	1.81	3.22	-----	107
27-11-87	4150	40	5.22	8.80	2.25	4.22	-----	183
01-12-87	5980	60	5.15	6.61	2.41	2.78	-----	99
04-12-87	5910	70	5.04	8.86	3.80	3.86	-----	174
08-12-87	5080	70	5.24	8.70	3.26	4.27	-----	110

* Indicates the date when the analyses were performed on a sample drawn from a protein container where liquid proteins were stored for one or several days.

** Acute level due to incidents in the dairy.

Section 5

Biological Wastewater Treatment at the Agrinove Dairy

The wastewater treatment system used at Agrinove is an extended aeration process with sequential batch basins (without separated sedimentation). The BOD_5/N/P ratio of the wastewater after the pretreatment step is 200/4.2/5.3. Before entering the treatment system, the pretreated water is mixed with the sanitary wastewater, thereby changing the above ratio to 200/5.3/5.4, i.e., the nitrogen and phosphorus are at a higher concentration than required for extended aeration (200/5/1).

Since entering service, the treatment plant has not experienced any problems; there has been no bulking sludge in five years of operation. Although the pH of the pretreated water is 4.2, the pH of the water in the basin and leaving the basin is always close to neutrality. A pH of 4.2 gives the pretreated water a bacteriostatic effect, which prevents the formation of destabilizing flora. Moreover, the survival of the few microorganisms that coexist in the dairy plant effluents is severely challenged in the buffer basin, where the pH is generally between 11 and 12. The organisms that survive receive a shock upon entering the pretreatment system due to the sudden drop of 7 pH units.

The purifying flora present in the aeration basin are assimilated to a 98% milk-based substrate. The microorganisms in the remaining 2% of the pollution (toilet water) are minor. They phagocytose, as shown by the decrease of four to five decimal points in the content of fecal coliform bacteria measured in the treated water as compared to coliform levels in the untreated toilet water. Thus the facility performs its own disinfection.

Cold weather does not appear to affect the operation of the treatment plant. In January 1988, the treated effluent had the following characteristics: BOD_5, 40 mg/L (the standard is 60 mg/L during the winter); COD, 165 mg/L; and phosphorus, 2.45 mg/L. The sludge extracted from the aeration basin is diverted to a former sludge lagoon. The water floating on top of the sludge lagoon is returned to the treatment plant intake. During the growing season, the sludge is available to farmers as fertilizer. Without pretreatment, sludge production would be higher and would require mechanical dewatering, which is costly in terms of investment and operation.

Section 6

Markets for Recovered Proteins

6.1 Analyses

Analyses of the proteins recovered appear in Table 10, for liquid proteins, and Table 11, for powdered proteins. For powdered proteins, multiple measurements were taken of the amino acids, fatty acids, and trace elements (Tables 12 to 14).

The protein content in the recovered product was high compared to other common milk products as illustrated in (Figure 4). However, the lactose content was low, which is interesting for several nutrition-related reasons, as will be discussed later. With regard to minerals, potassium and calcium were at low concentrations in the recovered proteins because the soluble portion of these elements is not retained by the facility. The phosphorus content, on the other hand, is higher than in milk due to the phosphoric acid contributed during washing. The liquid proteins are stored at a bacteriostatic pH of 4.2. Before pasteurization and use, their acidity is reduced to zero degrees Dornic, which results in a final pH on the order of 6.8.

6.2 Nutritional Tests

Nutritionists agree that animal proteins are superior to vegetable proteins. Milk proteins rank high on the scale of numerous quality criteria, such as the digestibility coefficient, biological value, net protein utilization, and protein efficiency ratio. The recovered proteins were tested as feed for hogs and calves, and for aquaculture.

6.2.1 Hog Feeding

The recovered proteins were sold to a piggery which raised 260 hogs. The hogs arrived at an age of two months and weighed 15 kg each. They weighed 75 to 80 kg when they were sold four to five months later. The first of the liquid proteins were delivered in October 1987, but in-depth studies of the new feed system did not begin until January 1988. Initial quantitative results will be available in May 1988.

The proteins were stored in several stainless steel tanks, similar to those used on farms for milk storage. A pump then distributed the

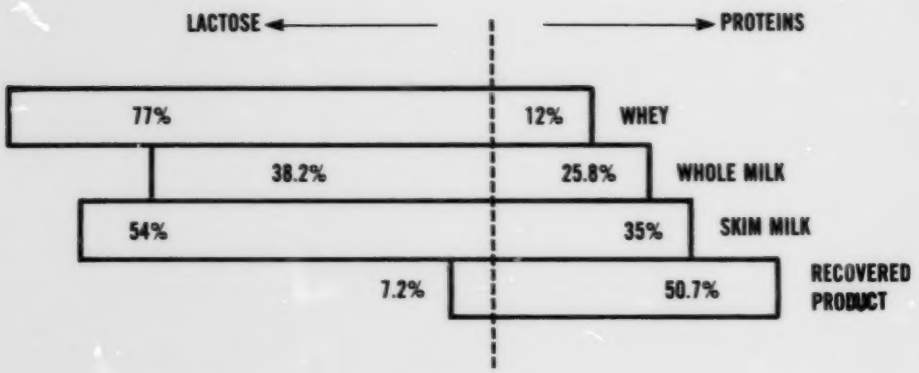


Figure 4 Protein and Lactose Content of Various Products

Table 11 Average Analysis of Recovered Powdered Product

Proteins	50.73%	(25.82%)
Fats	31.16%	(30.62%)
Ash (including added dicalcium phosphate)	10.88%	(5.76%)
Lactose	7.23%	(38.16%)
Mesophiles	39 000/g	
Thermophiles	18 000/g	
Yeast and molds	1/g	
Coliform bacteria	1/g	
Digestibility	70.92% of proteins digestible by pepsin	

Note: The powder contains 3.8% water, which was not indicated to permit comparison with the dry extract from raw milk. Figures in parentheses are analyses of raw milk, representing a mean of more than one million samples of marketed milk.

Table 12 Distribution of Amino Acids in Recovered Products

Amino acid	Percentage
Aspartic acid	8.17
Threonine	4.36
Serine	5.49
Glumatic acid	18.97
Proline	7.91
Glycine	2.42
Alanine	3.80
Cystine	4.34
Methionine	2.55
Isoleucine	4.81
Leucine	9.79
Tyrosine	4.61
Phenylalanine	4.72
Histidine	2.41
Lysine	7.06
Arginine	2.95
Valine	5.69

Note: The results are expressed as a percentage of the total for the 17 amino acids measured. The recovered powdered product contains more cystine than the analysis shows because the cystine was partially destroyed during hydrolysis prior to measurement. Tryptophane was completely destroyed and does not appear in the table. These observations must be taken into account when comparing this table with tables involving other products.

Table 13 Distribution of Fatty Acids in Recovered Proteins

Ratio	Fatty Acid	(%)
8:0	Octanoic	0.446
10:0	Decanoic	2.487
12:0	Lauric	3.419
14:0	Myristic	12.423
14:1	Myristoleic	2.527
16:0	Palmitic	29.734
16:1	Palmitoleic	3.137
18:0	Stearic	10.443
18:1	Oleic	21.761
18:2ω6	Linoleic	2.231
18:3ω3	Linolenic	0.784
18:4ω3	Octadecatetraenoic	0.404
Other	(19 acids detected)	10.204

Table 14 Mineral Analysis of Recovered Powdered Proteins

Element	Recovered Proteins (ppm)	Powdered milk (ppm)
Cu	102	22
P	6 800	6 500
K	6 000	10 300
Mg	750	800
Ca	4 500	8 700
Pb	0	0

proteins in the drinking water system and the hogs voluntarily drank the liquid. The proteins were initially distributed for 12 h during the day, and the water was restored at night. It was found that the water/protein ration was adequate for the pigs, so restoring the water at night was discontinued.

A food supplement (approximately 50%) was given in the form of dry granules formulated according to the average analysis of the recovered proteins. These granules also contained fibers essential to the animals. They were less costly than the granules previously used on an exclusive basis to feed the animals. The breeder made the following provisional observations regarding the effect of the food supplements:

(1) The pigs were sturdy and in good health and grew faster with the addition of the liquid proteins than when fed with the granules alone. The gain was at least one week over four months. The bristles were silkier, which was probably due to the richness of the proteins in sulphurous amino acids.

(2) The incidence of diarrhea decreased and blood-streaked diarrhea completely cleared up. (A comment is in order here regarding the voluntary use of whey for hogs. Hogs fall prone to profuse

diarrhea when ingesting whey which results in increased morbidity and mortality. The diarrhea is caused by the excessive lactose content of the whey. Since the recovered proteins contain only small amounts lactose, the risk of inducing diarrhea is not evident. The small amount of lactose in the recovered proteins is useful as it promotes the assimilation of calcium).

(3) The volume of semiliquid manure decreased by at least 10 to 15%. However, the manure had a stronger odour.

This process is encouraging for dairies that already maintain piggeries for the purpose of dairy waste management.

6.2.2 Calf Feeding

Proteins were incorporated into the calves' usual milk feed. Tests are currently being conducted.

6.2.3 Aquaculture

A study was conducted at an aquaculture research centre using smallmouth bass *Micropterus dolomieui* to determine the value of crude proteins for aquaculture. The proteins were given to the fish alone or in association with small shrimps *Artemia salina*. Other commercial products were also tested in parallel. The parameters measured during the study were mortality, cannibalism, length, and weight.

Figure 5 is an integrated version of the study results. Recovered proteins alone were found to be inadequate, but, interestingly enough, they reduce cannibalism considerably (Figure 6). Based on these initial results, research was conducted to develop a food for crustacean feeding. Work in the Philippines, which produces 80% of the world's farmed (cultivated) shrimp, confirms the excellent value of this food.

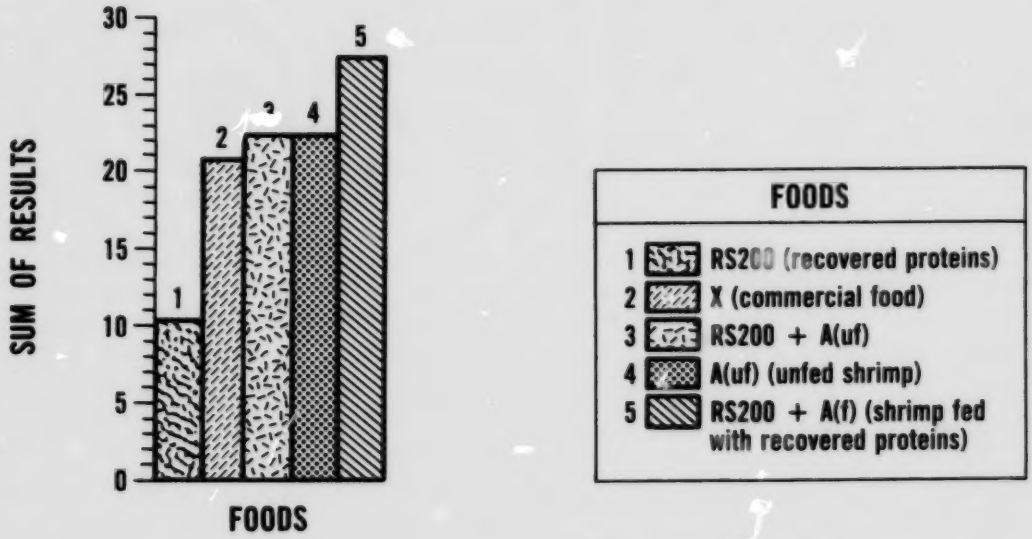


Figure 5 Nutritional Results for Fish

(Nutrition results include survival rate, weight, length, population homogeneity, condition factor, cannibalism, and biomass. The highest bar in the graph represents the best performance).

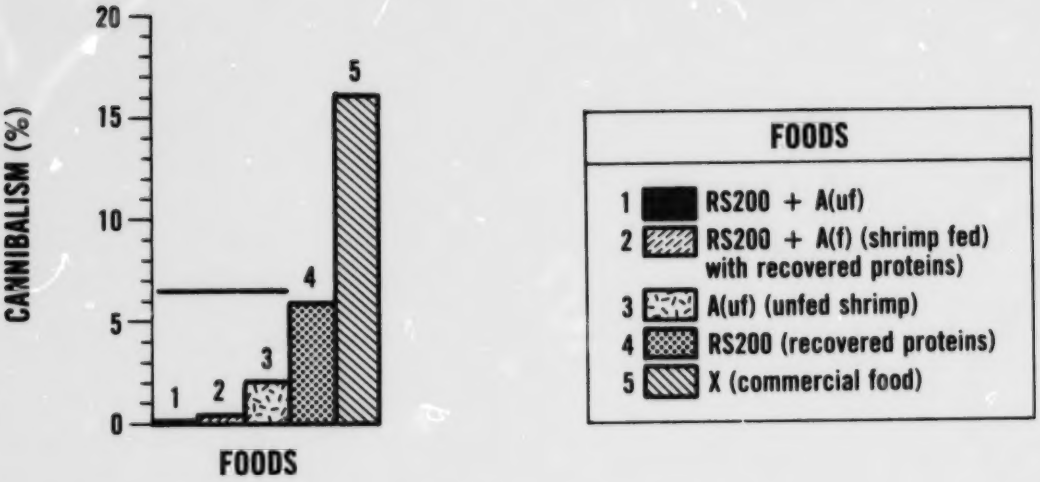


Figure 6 Effects of Various Foods on Cannibalism

(The horizontal line shows diets with no significant difference (p 0.05) as determined by Duncan's Multiple Range test).

6.3 Protein Shampoos

Acid hydrolysis of the recovered proteins after purification results in a hydrolysate that is quite suitable for protein shampoos. The product was found to have an amber colour due to the presence of impurities in the base product. This colouration is unimportant for shampoos of a similar colour, but for shampoos of another colour, it would be better to use an immaculate protein source reserved for this type of product.

Acid hydrolysis was only a stepping-stone for research into the feasibility of protein shampoos (the acidity effects the sulphurous amino acids that are useful for hair care). Avenues have been opened to enzymatic hydrolysis, which leaves the protein components intact. The low lactose content of the recovered proteins makes them superior to powdered milk as a raw material.

6.4 Markets

Proteins can be marketed in liquid form as they leave the facility, or in concentrated or powdered form. Concentration makes it possible to increase the radius of sales, but this is not a hard-and-fast rule because even a small dairy can find worthwhile local markets for powdered proteins. The investment return time depends on the protein markets that can be found locally.

For the time being, the most lucrative market is aquaculture. For example, shrimp breeding brings in $12/kg compared with $0.6 to $1/kg for hogs (all prices are freight on board (FOB) to the farm). For equal production levels, the shrimp breeding turnover is 12 to 20 times higher than for hog feeding. The investment return time for a protein recovery facility which is oriented towards an aquaculture market is only 1.5 years.

Some countries use powdered milk intended for human consumption as a foodstuff for shrimp breeding because more money can be made by exporting these crustaceans, for which world demand is very high, than by selling the powdered milk. This is true in spite of the fact that powdered milk is in great demand on the domestic market. Proteins can also be used as a foodstuff for domestic birds.

The first qualitative tests on budgies yielded promising results.

The feeding of fur-bearing animals is another market for recovered proteins. For example, mink are fed milk a few weeks before the skins are harvested to give the fur a lustrous appearance, thereby making it more valuable. There is no doubt that recovered proteins can achieve at least equivalent results since they are based on milk-derived protein.

Many avenues still remain to be explored, particularly in the lucrative sectors of protein hydrolysates, amino acid production, and cosmetics. In conventional areas, more and more dairy groups are diversifying by manufacturing food pellets for cattle. Vegetable proteins (cereals, fodder, etc.) are less nutritious than animal proteins. However, the combination of vegetable and animal protein in the feed yields better results, as shown by the hog feeding results.

By manufacturing the pellets on-site, the recovered proteins can be directly incorporated into the cattle feed, thereby avoiding storage and transportation costs. The protein content of the pellets can thus be increased well beyond the usual 18 to 22%. Moreover, the milk odour of the foodstuff usually attracts the animal for which it is intended.

Section 7

Economic Aspects

An efficient protein recovery process can be implemented economically when the volume of incoming milk to a dairy is 10 000 L/d or more.

7.1 Investment Cost for a Protein Recovery Facility

The investment cost depends on the volume of wastewater to be treated and cannot be correlated with the volume of milk treated in the dairy. Thus, it is necessary to refer to an effluent flow rate to define the size of the facility. In all cases, the protein recovery facility will be compact and can often be housed in the existing buildings. For this reason, civil engineering costs have not been considered in the financial analysis presented in this section. It is preferable to isolate the protein recovery facility from the dairy plant by means of partitions.

Since each dairy plant has its own profile, one cannot specify the required volume of a buffer basin used to receive the plant effluent. The buffer basin may be made of concrete or metal. The use of metal tanks may be more appropriate within dairies because spare vats, tanks, basins, etc. are usually available.

Before starting any protein recovery project, it is recommended that an investigation be conducted to reduce the wastewater flows. At the Agrinove dairy, this flow was reduced by 50%.

The prices which are quoted in the following text, in Canadian dollars (March 1988), are for FOB Montreal equipment; they include setup and start-up within a 250 km radius of Montreal.

The floor space required is 40 m^2 for a small facility and 100 m^2 for a large facility. If possible, it is advisable for the dairy to use a buffer basin that is recessed under the slab supporting the facility, or in another suitable location to save room. The required floor space can thereby be reduced to 25 m^2 for the small (5 m^3/h) facility and to 60 m^2 for the large (50 m^3/h) facility. A biological treatment facility would require five to ten times more space.

A small automated facility made entirely of stainless steel, and capable of treating effluent at a rate of 5 m^3/h or 120 m^3/d would cost $95 000. A large automated facility made entirely of stainless steel, and capable of treating effluent at a rate of 50 m^3/h or 1200 m^3/d would cost $160 700. If protein pasteurization is to be included, $80 000 must be added to the planned budget, which includes refrigerated storage of the proteins. However, dairies often have unused pasteurizers the value of which can be subtracted from investment costs (this was true for the Agrinove dairy).

7.2 Operating Costs

The following annual balance sheets are for the Agrinove dairy (December 1986 to December 1987). The operating costs in (a), which represents data derived from the pilot project, are based on the recovery of 55 t/yr of dry product consisting of 50% proteins. The pilot project operated at flow rates of 400 m^3/day to 500 m^3/day. On the basis of these costs, conservative estimates of the operating costs for a facility which is

(a) Sulphuric acid	$ 9 517.20
Reagents	$ 5 705.10
Energy (base $0.0135/KWh)	$ 837.00
Total	$ 16 059.30

capable of treating 1200 m^3/d of effluent can be made. With an initial investment of $250 000, including pasteurization and in-house plant modernization for water savings, the estimated operating costs for a 1200 m^3/day facility are presented in (b).

(b) Fixed assets (20 years)	$ 12 500.00
Interest	$ 12 500.00
Personnel	$ 10 000.00
Energy	$ 2 000.00
Chemicals	$ 60 000.00
Maintenance	$ 10 000.00
Total	$ 107 000.00

Based on a mean organic nitrogen content of 85 mg/L (see Table 1) for the rejects, i.e., 535 mg/L of proteins, and an 85% recovery rate, it is feasible to recover:

535 g/m^3 x 85% x 1200 m^3/d x 310 d/yr = 170 t/yr of true proteins, i.e., 340 t/yr of proteins at 50%.

Therefore, the cost of the protein recovery/pretreatment process (depreciation included) is:

$107 000/yr ÷ 340 000 kg/yr = $ 0.32/kg of recovered crude protein.

If we compare the cost of recovering 1 kg of crude proteins with the biological purification cost for the same volume of protein, it would be discovered that the latter cost is two to three times higher and the remaining biological sludge could not be sold.

The selling price for proteins varies widely according to the market. It does not help to look at the price of soya, a vegetable protein, which does not have the amino acid balance of milk. Comparison with powdered milk or with proteins recovered from whey using the membrane process is more appropriate. The latter type of recovered proteins sells for $1.95 per kilogram of powder. Although the powdered protein market is more lucrative, the drying cost (i.e., $0.68/kg) must be added to the price of the recovered liquid proteins, which brings the cost (depreciation included) of producing 1 kg of powder which has 50% protein to $1.00.

Proteins are quite suitable for the preparation of delicate food stuffs, such as those used in aquaculture* for the larval and post larval stages. Prices of $24.00/kg are common for aquaculture products. This type of market should be examined first as a viable alternative for recovered proteins.

If the recovered proteins are taken directly to a plant that produces food for cattle or cats and dogs instead of being pasteurized and stored, the cost of the recovered proteins (dry base) falls to $0.28/kg. Pasteurization is then no longer necessary because pellet production provides the necessary heat treatment.

7.3 Economic Comparisons

This section will highlight economic comparisons between a protein recovery pretreatment facility in series with a biological treatment plant and a biological treatment plant that would directly purify all rejects. The pretreatment yield was set at 50% protein recovery.

In an unpublished report, D.W. Bissett of Environment Canada, separated into three sizes the dairy treatment plants whose wastewater rejects were 1090 L of wastewater and 2.63 kg of BOD_5 per 454.5 kg of milk equivalent** or ME (Table 15).

---

* The proteic particles of the recovered proteins have a mean diameter of less than 5 µm; thus, they can be easily assimilated by small-mouthed animals or filter feeders. It is possible to enlarge these particles up to a few centimetres to use them as food for larger fish.

** The term "milk equivalent" refers to the quantity of raw milk required to produce a unit of given dairy product. For example, the milk equivalent of 1 kg of cheese is 9.9 kg of milk.

Table 15 Classification of Treatment Plant Sizes

Plant Size	Annual Production ($x10^6$ kg ME)	Daily Flow Rate (m^3/d)	BOD_5 (mg/L)	BOD_5 (kg/d)
Small	6.8	55	2400	132
Medium	40.9	330	2400	792
Large	136.4	1100	2400	2640

Two biological purification processes were used for the economic comparison: an extended aeration process (i.e., aerated lagoon) and a compact process using activated sludge (Tables 16 and 17). In the calculation, it is assumed that the recovered proteins would be sold at cost, without profit. The investments over 20 years are indicated for all the processes.

Table 18 shows the operating costs for protein recovery versus biological purification. For this comparison, it was assumed that 1 kg of food proteins were equivalent to 1 kg of BOD_5. The proteins are produced in liquid form at a concentration of 8 to 10%. Figure 7 presents the data from Table 18 in graphic form.

The protein recovery process is profitable even if the recovered proteins are not used because removing pollution in this manner is less costly than conventional treatment methods. The facility also works quickly because the process uses only physico-chemical methods. It reaches equilibrium a few hours after start-up, whereas conventional biological facilities take several weeks to reach equilibrium.

The process enables a firm to stagger its investments. The pretreatment portion can be set up first, followed by the biological finishing system. The pretreatment water is almost limpid and contains virtually no suspended solids. Thus, the appearance of the receiving waterways is improved.

Operating costs discussed in this section that pertain to lagooning do not include the removal of the sludge once the lagoon is saturated. Test results for Quebec tend to show that if this sludge "treatment" is included, the operating costs for lagooning match those of the activated sludge process. Thus, the lagooning and activated sludge processes are similar in terms of investment and operation.

Because of the large surface area required, lagooning is subject to more constraints, such as siting, soil and hydrogeological conditions. The unforeseeable costs of these constraints were not taken into account in the economic calculations presented in this section.

Table 16 Protein Recovery and Biological Treatment - Total Investment

	Investment ($1000 per plant)			Operating Costs ($1000 per plant)		
	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
Aerated lagoon	300	970	1700	34	105	260
Activated sludge	400	900	1700	70	178	380

Table 17 Biological Treatment Without Protein Recovery - Total Investment

	Investment ($1000 per plant)			Operating Costs ($1000 per plant)		
	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
Aerated Lagoon	320	1100	2100	68	210	520
Activated sludge	440	1000	2100	140	356	760

Table 18 Operating Costs for the Aerated Lagoon, the Activated Sludge, and Protein Recovery

	Operating costs ($/kg of BOD_5 per plant)		
	Small **	Medium ***	Large ***
Aerated lagoon	1.66	0.86	0.63
Activated sludge	3.42	1.45	0.93
Protein recovery*	1.39	0.46	0.26

* Proteins obtained in liquid form; the sale of these proteins is not included.
** Unpasteurized proteins.
*** Pasteurized proteins.

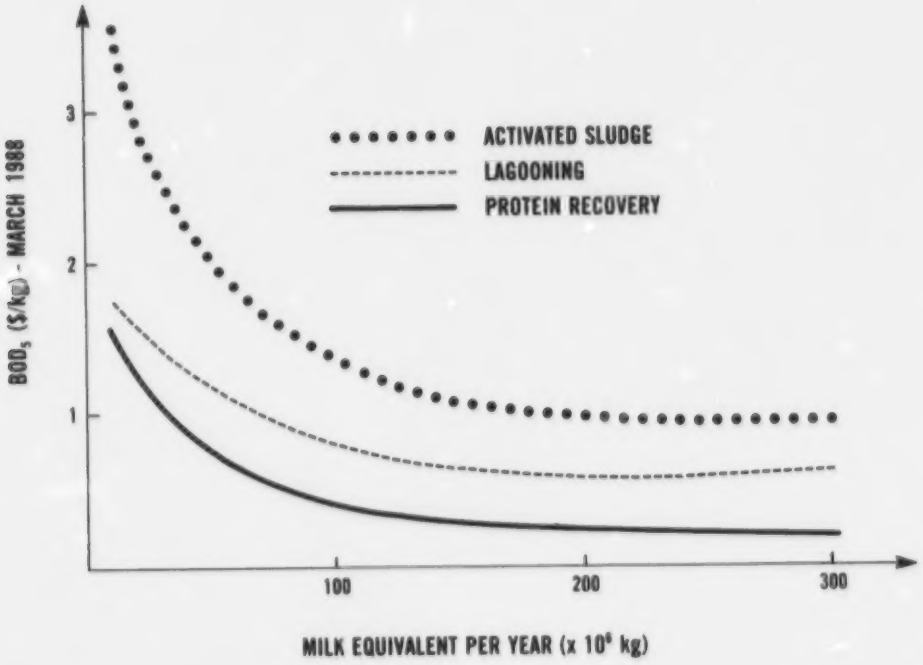


Figure 7 **Comparison of Operating Costs**

Section 8

Applications of the Process

The process is applicable to all dairy plants, regardless of whether they are equipped with a conventional treatment facility, or whether they are located in industrialized or developing countries.

8.1 Industrialized Countries

If the dairy plant exists but does not yet have a treatment facility, or has one that is already hydraulically overloaded, the sequence of steps to be taken is as follows:

(1) Conduct a technical-economic study aimed at reducing the volume of dairy products and wastewater entering the sewer.

(2) Achieve the economies recommended in step (1).

(3) Examine the rejected flows that have been reduced to their simplest possible level. It is important to use this investigation to simultaneously determine the quantity and quality of the proteins recoverable each day. The conventional investigation actually makes it possible to reconstitute a mean daily sample to measure the quantity of recoverable proteins. This third step may show that the existing treatment facility is not overloaded or that the overload may be deferred. Otherwise, the protein recovery facility can be designed in harmony with the existing or planned treatment plant.

In cases where disposal is via the city sewer system, pretreatment will be limited to protein recovery. The pH of the pretreated water, which has a set value of 4 to 5 according to the dairy, must be corrected. In order to neutralize the pH level at 7, sodium hydroxide is added at a rate of 4 mg/L. It is not necessary to regulate the pH level, and the hydroxide solution is simply added at a constant rate to the pretreated water. The flow rate and pH are constant.

Investment in the pH treatment system is limited to a metering pump that operates in parallel with the pump supplying the protein recovery facility. The annual cost for sodium hydroxide is low: \$75.00 for a facility treating 120 m^3 of effluent per day and \$750.00 for a facility treating 1200 m^3 of wastewater per day.

8.2 Developing Countries

The application of the protein recovery concept to dairies in developing countries is ideal because they have usually not been constructed. Protein recovery makes it possible to recycle a noble food. It also enables the countries involved to save energy because animal proteins are at the top of a highly developed trophic chain. The unexpected food source derived from recovered proteins simultaneously helps to solve an environmental problem created by dairy wastewater. This in turn means that there are fewer limits on development.

Developing countries can pose different environmental problems for the designers of wastewater recovery systems. For dairies located in hot countries, the flow of wastewater across the ground to the sewer must be avoided. Vat spills, should they occur, can be prevented by means of overflow valves connected to the treatment area by pipes. The lack of a winter season makes it possible for the soil to maintain a permanent layer of microorganisms that would be made virulent by the presence of spilled milk.

The acid contained in washwater can also be a problem. The flow of acid washwater eventually gets the better of the hardiest of soils, which become unattractive and harbour microbes. Therefore, the wastewater from these machines must be contained as much as possible in the pretreatement area. This prevents the disagreeable odour of spoiled milk from being present in the air.

To reduce dependence on treatment acids* not available locally, the protein recovery process would use complementary equipment to convert some of the lactose in the on-site rejects into lactic acid.

For greater economy, dairy plant facilities must be arranged so that caustic washing is carried out upstream from the stainless steel pipe used to receive the wastewater from the plant. In this way, the cleaning properties of the caustic washing solution can be used a second time.

8.3 Recovery of Whey Proteins

With some changes, the facility described above can also be used to recover whey proteins. Two whey recovery systems are possible, depending on the volume of whey and the markets for the extracted proteins.

If the recovered proteins are for human consumption, it is worth installing whey treatment equipment with autonomous CIP (cleaning in place). If the recovered proteins are for animal consumption, the wastewater protein recovery facility can be used sequentially. Once the plant wastewater has been treated, the whey is routed to the facility and the lactose is sent to an appropriate storage tank. To implement this procedure, appropriate planning must take place from the outset and equipment of suitable dimensions must be used, particularly for the buffer basin.

The investment cost for a whey recovery system is slightly higher than the investment cost for a wastewater protein recovery system. In spite of this, the whey recovery system depreciates at a faster rate due to significantly higher concentration levels of whey (the equivalent of 8000 mg/L of proteins for whey instead of 600 mg/L for wastewater protein recovery). For an identical flow to be treated, the quantity of proteins recovered from whey will be 13 times higher than the quantity of proteins recovered from wastewater.

For a facility capable of treating 100 m^3 of whey per day, the costs for recovered proteins break down as follows: energy, $0.12/kg; products (CIP included), $0.07/kg; depreciation, $0.12/kg; personnel, $0.08/kg; and maintenance $0.02/kg, for a total of $0.41/kg. The data in Table 18 indicates that, for a similar flow rate of wastewater, the cost of producing a corresponding volume of recovered proteins was $1.39/kg.

The effect of concentrating and recovering proteins from dairy plant wastewaters has been economically demonstrated. At the same time, the efficiency made possible by reducing wastewater volume has proven to be both economically and environmentally sound.

---

* At Agrinove, sulphuric acid represents 90% by weight of the products used, and 60% of the cash outlay.

Appendix

Distribution of Water Flow Rates by Category of Product Manufactured*

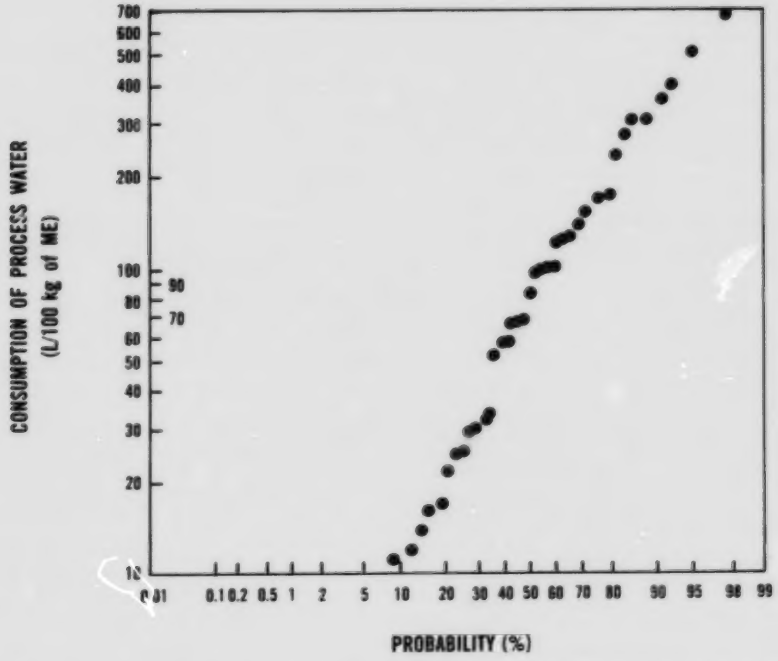


Figure A **Distribution of Water Consumption for a Dairy (ME = milk equivalent)**

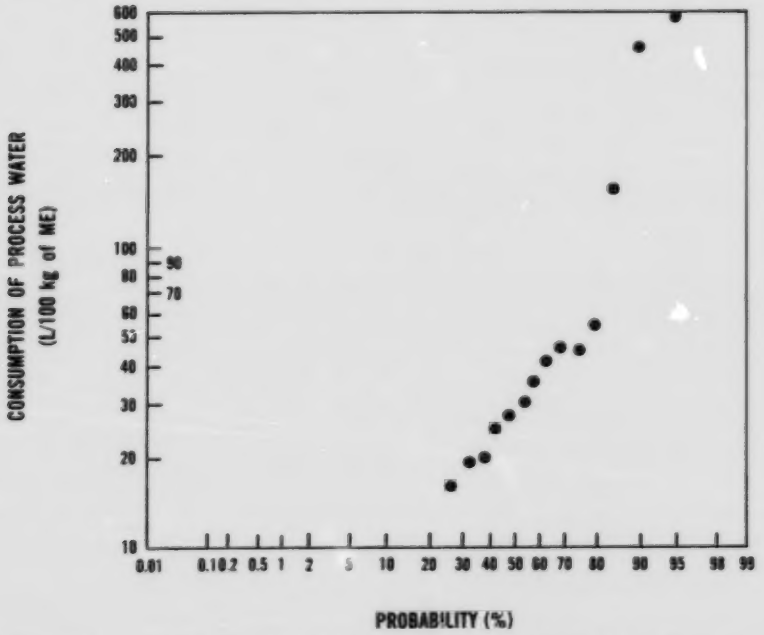


Figure B **Distribution of Water Consumption for a Butter Plant**

* (Source: D.W. Bissett, P.Eng., Environment Canada, Environmental Protection Service).

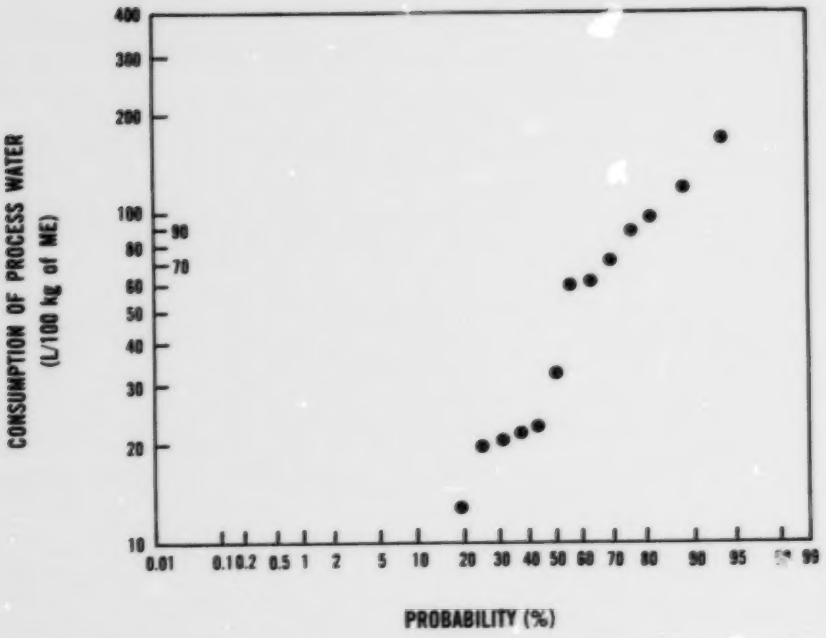


Figure C **Distribution of Water Consumption for a Cheese Plant**

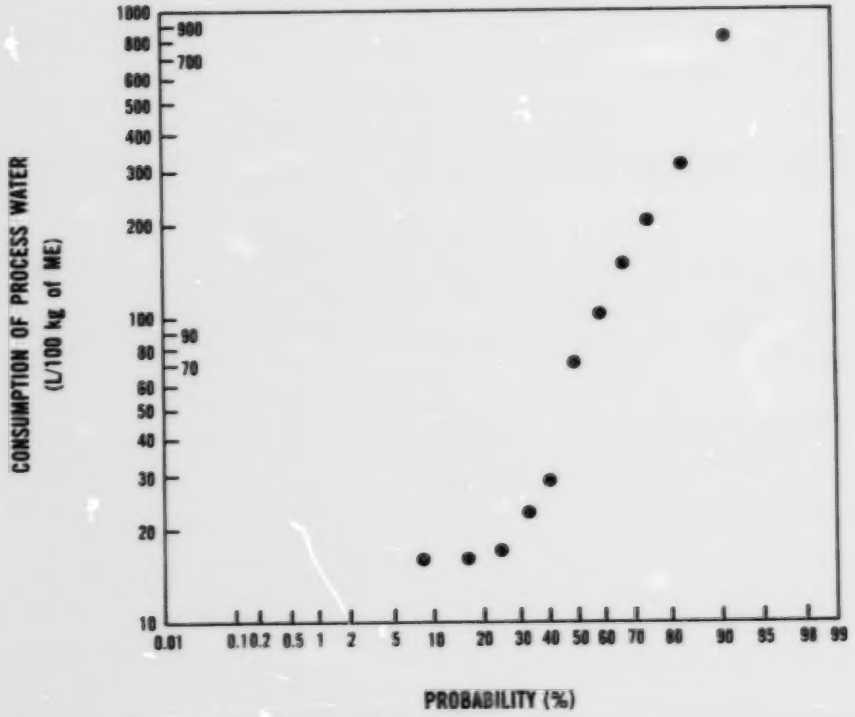


Figure D **Distribution of Water Consumption for a Plant Manufacturing Ice Cream and Frozen Desserts**

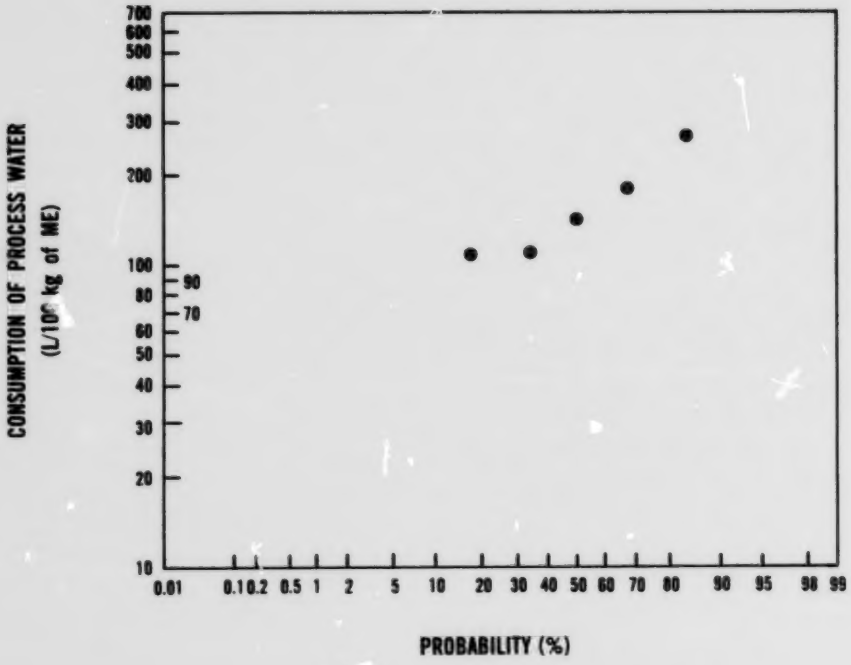


Figure E **Distribution of Water Consumption for a Plant Manufacturing Condensed or Evaporated Products**

Série de la Protection de l'environnement

La récupération des protéines et des matières grasses perdues dans l'industrie laitière

Rapport SPE 3/FP/2
Janvier 1991

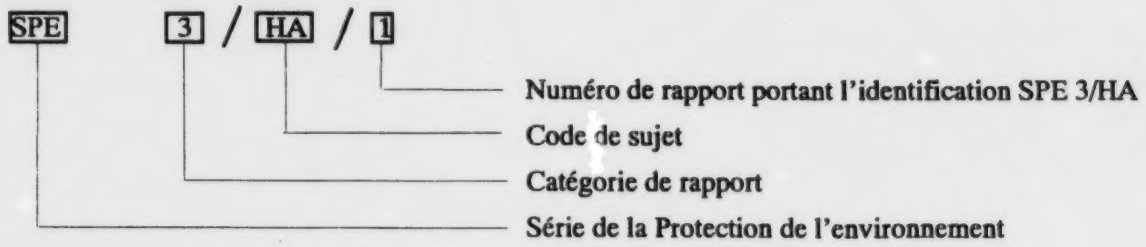
IMPRIMÉ AU CANADA

Canada

Environnement Canada | Environment Canada

SÉRIE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotation :



Catégories

1 Règlements/Lignes directrices/ Codes de pratiques
2 Évaluation des problèmes et options de contrôle
3 Recherche et développement technologique
4 Revues de la documentation
5 Inventaires, examens et enquêtes
6 Évaluations des impacts sociaux, économiques et environnementaux
7 Surveillance
8 Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9 Guides

Sujets

AG Agriculture
AN Technologie anaérobie
AP Polluants atmosphériques
AT Toxicité aquatique
CC Produits chimiques commerciaux
CE Consommateurs et environnement
CI Industries chimiques
FA Activités fédérales
FP Traitement des aliments
HA Déchets dangereux
IC Chimie inorganique
MA Pollution marine
MM Exploitation minière et traitement des minéraux
NR Régions du Nord et rurales
PF Papier et fibres
PG Production d'électricité
PN Pétrole et gaz naturel
RA Réfrigération et climatisation
RM Méthodes de référence
SF Traitements de surface
SP Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM Méthodes de référence normalisées
TS Systèmes de transport
TX Textiles
UP Pollution urbaine
WP Protection/préservation du bois

Des sujets et des codes additionnels sont introduits au besoin. On peut obtenir une liste des publications de la SPE en s'adressant aux Publications de la Protection de l'environnement, Conservation et Protection, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

Cette publication est imprimée sur du papier contenant des rebuts recyclés.

La récupération des protéines et des matières grasses perdues dans l'industrie laitière

par

Inipex Inc.
Fleurimont (Québec),

Poseidon Inc.
Longueuil (Québec) et la

Coopérative agro-alimentaire Agrinove
Sainte-Claire de Dorchester (Québec)

pour la

Direction du développement technologique
Protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada

Ce projet a été réalisé en vertu du Programme de création et de démonstration de techniques de conservation des ressources et de l'énergie.

D→RECT

Rapport SPE 3/FP/2
Janvier 1991

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre:

La récupération des protéines et des matières grasses perdues dans l'industrie laitière

(Rapport ; SPE 3/FP/2)
Texte en anglais et en français disposé tête-bêche.
Titre de la p. de t. addit.: Recovery of proteins and fats lost in the dairy industry.
ISBN 0-662-58150-4
N° de cat. MAS En49-17/3-2

1. Laiteries -- Résidus. 2. Industrie laitière -- Canada -- Déchets -- Élimination. 3. Déchets agricoles -- Canada. I. Inipex Inc. II. Poseidon Inc. III. Coopérative agro-alimentaire Agrinove. IV. Canada. Direction du développement technologique et des services techniques. V. Canada. Environnement Canada. VI. Titre: Recovery of proteins and fats lost in the dairy industry. VII. Coll.: Rapport (Canada. Environnement Canada) ; SPE 3/FP/2.

TD899.D3R42 1991 363.72'88 C91-098545-6F

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991
No de catalogue En 49-17/3-2
ISBN 0-662-58150-4
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

Avis de révision

Le présent rapport a été revu par la Direction du développement technologique d'Environnement Canada, qui en a approuvé la publication. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que le contenu du rapport soit conforme aux vues et politiques d'Environnement Canada. Toute mention d'une marque déposée ou d'un produit commercial ne constitue nullement une recommandation ou une approbation de la part d'Environnement Canada.

Commentaires

Les personnes qui désirent faire part de leurs commentaires sur la teneur du présent rapport sont priées de les adresser à :

S.A. Ross
Direction du développement technologique
Conservation et Protection
Environnement Canada
Centre de technologie environnementale de River Road
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

On peut se procurer des exemplaires supplémentaires de ce rapport à l'adresse suivante :

Publications de la Protection de l'environnement
Direction du développement technologique
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Résumé

Les eaux résiduaires de laiterie (c'est-à-dire la pollution attribuable à ce type d'usine) représentent environ de 0,5 à 2,5 % de tout le lait livré aux laiteries. Ce pourcentage peut passer à 3 ou 4 % dans certains cas, ce qui entraîne une perte de 15 jours de production par année.

Le traitement aérobie classique des résidus de laiterie nécessite des investissements et des frais d'exploitation élevés qui peuvent exercer une contrainte sur le budget de fonctionnement d'une laiterie. Il produit également une quantité importante de boues difficiles à déshydrater et à éliminer. L'épandage de ces boues sur des terres agricoles équivaut, en fait, à une perte de valeur du sous-produit qui passe de protéine animale à protéine végétale. Il en va de même pour le traitement anaérobie des résidus de laiterie qui convertit une matière de grande valeur (protéines) en une substance de moindre valeur (méthane).

Le procédé décrit dans le présent rapport permet de récupérer des protéines et des matières grasses contenues dans les rejets de laiterie. En poids sec, les protéines représentaient en moyenne 50 % du produit récupéré, et les matières grasses correspondaient à environ 30 % de ce produit. Le lactose ne compte pas dans le produit récupéré. Les protéines récupérées peuvent servir de moulée aux différents animaux d'élevage comme le porc et le veau et elles ont été utilisées avec succès pour l'alimentation du poisson et des animaux de compagnie. Tout porte à croire que le recours aux protéines récupérées chez les animaux à fourrure améliorerait la qualité de leur fourrure.

Table des matières

Résumé v
Liste des figures ix
Liste des tableaux x
Sommaire xi

Section 1
Introduction 1

Section 2
Traitement des eaux usées à la Coopérative Agrinove . . . 3

Section 3
Réduction du débit d'eaux usées 4
3.1 Séparation des eaux usées 4
3.2 Récupération à la source des eaux usées concentrées 5
3.3 Charges nettes après la séparation et la récupération . . 5

Section 4
Procédé de récupération des protéines 7
4.1 Essais en laboratoire 7
4.2 Essais pilotes 7
4.3 Installation en grandeur réelle de récupération des protéines 12

Section 5
Traitement biologique des eaux usées à la laiterie d'Agrinove 16

Section 6
Débouchés pour les protéines récupérées 17
6.1 Analyses 17
6.2 Essais nutritionnels 17
6.2.1 Alimentation du porc 19
6.2.2 Alimentation du veau 20
6.2.3 Aquiculture 20
6.3 Shampoings aux protéines 20
6.4 Débouchés 21

Section 7
Aspects économiques 23
7.1 Investissements nécessités pour une installation de récupération des protéines 23

7.2 Frais d'exploitation **24**
7.3 Comparaisons économiques **25**

Section 8
Applications du procédé **28**
8.1 Pays industrialisés **28**
8.2 Pays en voie de développement **28**
8.3 Récupération des protéines du lactosérum **29**

Annexe
Distribution des débits d'eau par catégorie de produit fabriqué **31**

Liste des figures

1 Réduction de la demande chimique en oxygène en fonction de la concentration dans les eaux usées 8

2 Récupération des protéines récupérées en fonction de la concentration dans les eaux usées 8

3 Procédé de récupération des protéines (utilisé à la laiterie d'Agrinove à Beauceville, Québec) 9

4 Teneur en protéines et en lactose de différents produits 17

5 Résultats nutritifs chez le poisson 21

6 Effets de différents produits alimentaires sur le cannibalisme 22

7 Comparaison des frais d'exploitation 27

Liste des tableaux

1 Caractéristiques moyennes des eaux usées à la laiterie d'Agrinove 1

2 Investissements comparatifs pour la séparation des eaux usées non contaminées 5

3 Charges récupérables de sources prises isolément 6

4 Caractéristiques des rejets de l'usine fonctionnant à plein rendement 6

5 Analyse des protéines récupérées au laboratoire 10

6 Récupération des protéines en fonction de la demande chimique en oxygène de l'eau à traiter 11

7 Résultats du prétraitement 11

8 Récupération des protéines à grandeur réelle : examen préliminaire (mai 1986) 12

9 Essais d'évaporation et de séchage 13

10 Produit liquide récupéré 14

11 Analyse moyenne du produit en poudre récupéré 18

12 Distribution des acides aminés dans le produit récupéré 18

13 Distribution des acides gras dans les protéines récupérées 19

14 Analyse minérale des protéines en poudre récupérées 19

15 Classification des usines de traitement selon la grandeur 26

16 Récupération des protéines et traitement biologique : investissements totaux 26

17 Traitement biologique sans récupération de protéines : investissements totaux 26

18 Frais d'exploitation de l'étang aéré, du traitement par boues activées et de la récupération des protéines . . 27

Sommaire

(1) Les pertes de lait dans une laiterie représentent en moyenne de 0,5 à 2,5 % du lait livré à la laiterie et peuvent atteindre 3 ou 4 %. Dans ce dernier cas, les pertes correspondent à une perte de production de 15 jours par année.

(2) Le débit d'eaux usées des laiteries ne peut être mis en corrélation avec la quantité de lait traité.

(3) Dans une laiterie, la séparation de l'eau non contaminée peut conduire à une réduction du débit d'eaux usées qui peut atteindre 30 % du volume original.

(4) La cueillette à la source des effluents concentrés et l'acheminement jusqu'à des installations de prétraitement, au lieu d'un déversement direct dans les égouts, peuvent rapporter des profits à la laiterie.

(5) À la laiterie d'Agrinove, le prétraitement des effluents concentrés a été assuré grâce à l'application d'un procédé de récupération des protéines qui s'est traduit par une réduction de la demande chimique en oxygène (DCO) de 50 à 75 %. Le prétraitement a entraîné la diminution de la grandeur des installations de traitement final.

(6) Les eaux usées prétraitées étaient pratiquement limpides et n'exerçaient aucun effet nocif sur le procédé de traitement biologique situé en aval.

(7) Les produits récupérés lors du prétraitement avaient une teneur en protéines (50 %) supérieure à celle des produits laitiers courants (p. ex., lait écrémé, 35 %; lait entier, 27 %; lactosérum, 12 %).

(8) L'installation de récupération des protéines est compacte et son fonctionnement est entièrement automatique. La superficie des installations de traitement biologique aurait dû être de cinq à dix fois plus importante qu'elle ne l'est si la laiterie d'Agrinove n'avait pas pratiqué ce prétraitement.

(9) Les eaux usées prétraitées qui arrivaient à l'étape du traitement biologique avaient un rapport demande biochimique en oxygène en cinq jours/azote/phosphore (DBO_5/N/P) de 200/5,3/5,4, c.-à-d. au-dessus des niveaux-seuils requis pour l'aération prolongée (200/5/1) dans une laiterie qui utilise l'acide phosphorique pour le lavage.

(10) Le foisonnement de boue n'a pas été observé pendant la période d'observation de cinq ans du système de traitement biologique qui recevait l'effluent du procédé de récupération des protéines.

(11) Le procédé de récupération des protéines a atteint l'équilibre au bout de quelques heures de fonctionnement seulement, tandis qu'un procédé biologique classique peut mettre plusieurs semaines à l'atteindre.

(12) À cause de leur faible teneur en lactose (7,2 %), les protéines récupérées étaient plus digestibles pour les organismes monogastriques que la poudre de lait écrémé, qui contient 54 % de lactose, ou encore le lactosérum, qui en contient 77 %.

(13) Les protéines récupérées ont accéléré la croissance et amélioré la santé des porcs et elles ont conduit à une réduction de la quantité de lisier produit.

(14) Parmi les autres débouchés pour les protéines, il y a notamment l'alimentation des veaux, des animaux à fourrure et des oiseaux de basse-cour. La fabrication d'hydrolysats protéiniques (p. ex., pour les cosmétiques et les shampoings de protéines) constitue également un débouché viable.

(15) Les protéines récupérées peuvent servir à la préparation d'aliments délicats pour l'aquiculture.

(16) Une installation de récupération des protéines capable de traiter un effluent à raison de 120 m^3 par jour coûterait 95 100 $, tandis qu'une installation d'une capacité de 1 200 m^3 par jour coûterait 160 700 $ (dollars de 1988).

(17) Le procédé est applicable dans toutes les laiteries, peu importe qu'elles soient équipées d'installations classiques de traitement ou qu'elles soient situées dans un pays industrialisé ou en voie de développement.

(18) Avec certaines modifications, le procédé peut permettre la récupération de protéines du lactosérum.

(19) Le procédé est rentable même si les protéines récupérées ne sont pas utilisées. Le coût de cette forme d'élimination de la pollution est inférieur à celui des méthodes classiques de traitement.

Section 1

Introduction

La Coopérative agro-alimentaire Agrinove de Beauceville, Québec, a une capacité nominale de 545 000 litres par jour. En moyenne, l'usine a une production annuelle de 1 300 tonnes de fromage cheddar, de 10 000 tonnes de poudre de lait écrémé, de 1 900 tonnes de poudre de lactosérum, de 161 tonnes de beurre de lactosérum et de 10 000 tonnes de crème. L'usine fonctionne en permanence de mai à octobre et 20 heures par jour, cinq jours par semaine, de novembre à avril.

En 1983, le volume moyen de lait reçu en cinq jours était converti de la façon suivante : 338 000 L de lait entier, 269 000 L de lait converti en poudre et 69 000 L de lait converti en fromage. Le tableau 1 donne les caractéristiques moyennes des eaux usées au cours de la même période.

Les travaux en laboratoire sur les possibilités de traiter les eaux usées des différents procédés ont commencé en mai 1984. Les résultats obtenus à cette étape ont servi à la tenue d'un court essai à l'échelle de l'usine pilote au cours de l'automne 1984. Les succès obtenus à cette deuxième étape ont conduit à la mise en oeuvre d'un programme d'essai à grandeur réelle entre le 26 novembre et le 14 décembre 1984. La construction de l'installation prototypique a commencé en janvier 1985, et, le 1er juillet 1985, une installation à grandeur réelle entrait en activité.

Du 1er septembre 1986 au 31 août 1987, l'usine a pris livraison de 117 922 794 L de lait. Compte tenu du fait qu'une année correspond à 310 jours de production, la laiterie a pris livraison de 380 000 L de lait

Tableau 1 Caractéristiques moyennes des eaux usées à la laiterie d'Agrinove*

Paramètre	Valeur
pH	11,4
Débit	398 m^3/d
Coefficient du débit de pointe moyen	2,43
Coefficient du débit de pointe maximum	3,8
Coefficient du débit de pointe minimum	1,5
Demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO_5)	420 kg/d ou 1 055 mg/L
Demande chimique en oxygène (DCO)	940 kg/d ou 2 360 mg/L
DCO/DBO_5	2,24
Matières en suspension (MES)	140 kg/d ou 350 mg/L
Matières grasses	76 kg/d ou 190 mg/L
Phosphore total (P)	31,6 kg/d ou 79 mg/L
Ammoniac (N)	2,44 kg/d ou 6 mg/L
Azote organique (N)	33,6 kg/d ou 85 mg/L
DBO_5/N/P	100/8,63/7,5 ou 200/17,2/15,0

* Données prélevées dans un intervalle de cinq jours (1983).

par jour, en moyenne. Au cours de la même période, 11,86 % du lait livré (soit 13 985 643 L) a été transformé en fromage; le reste (soit 88,14 % ou 103 937 150 L) a été converti en poudre de lait écrémé. La crème extraite du lait était expédiée à une autre usine.

Section 2

Traitement des eaux usées à la Coopérative Agrinove

Le projet dont il est question dans le présent rapport s'inscrit dans le cadre d'un programme de traitement des eaux usées mis en oeuvre par la Coopérative agro-alimentaire Agrinove et par Environnement Québec. Les problèmes visés dans l'usine et les objectifs environnementaux correspondants du programme ont été déterminés comme suit :

Eaux usées de fabrication. Les eaux usées de fabrication sont des effluents liquides qui ne peuvent être réutilisés dans la préparation de produits finis. Normalement, elles contiennent du lactosérum, du babeurre, des boues du séparateur, des eaux de purge des canalisations, des eaux de premier rinçage de certaines pièces d'équipement ou tout autre liquide qui contient des matières organiques en concentration élevée. On considère que ces eaux usées sont contaminées et qu'elles doivent être séparées de l'eau non contaminée et traitées indépendamment.

Les eaux de fabrication qui ne peuvent être récupérées à la source doivent être traitées de manière à ce qu'elles atteignent une concentration moyenne mensuelle de 30 mg/L de matières en suspension (MES) et de matières à l'origine de la DBO_5 du 21 mars au 21 novembre, et de 60 mg/L du 21 novembre au 21 mars. Ces normes sont applicables à la moyenne mensuelle de quatre échantillons quotidiens d'effluents prélevés chaque mois. Pour chaque mois entre le 21 mars et le 21 novembre, la concentration de MES et de matières à l'origine de la DBO_5 ne doit dépasser 60 mg/L dans aucun des échantillons quotidiens. Pour chaque mois entre le 21 novembre et le 21 mars, la concentration de MES et de matières à l'origine de la DBO_5 ne doit dépasser 90 mg/L dans aucun des échantillons quotidiens. La limite admissible de concentration des huiles et des graisses est de 15 mg/L, et le pH doit se situer entre 5,5 et 9,5. Aucune limite précise n'a encore été fixée pour le phosphore. Toutefois, les solutions de nettoyage utilisées pour le lavage de l'équipement doivent être recirculées au maximum, et l'utilisation des phosphates doit être limitée le plus possible.

Eau non contaminée. Toute l'eau non contaminée doit être recirculée, réutilisée dans d'autres opérations (p. ex., le lavage) ou éliminée isolément par des fossés de drainage ou des égouts pluviaux. Dans l'eau non contaminée, on inclut notamment l'eau des chaudières, l'eau distillée des évaporateurs, l'eau utilisée pour le rinçage de l'équipement et l'eau de refroidissement.

Eau des installations sanitaires. L'eau des installations sanitaires doit être traitée en conjonction avec les eaux de fabrication.

Le programme de dépollution des eaux usées à la laiterie d'Agrinove a été appliqué en trois phases distinctes :

i) la réduction des rejets d'eaux usées et la séparation des eaux contaminées et non contaminées;

ii) l'essai pilote d'un procédé de prétraitement et de récupération des protéines;

iii) la conception et la construction d'une installation de traitement biologique.

Section 3

Réduction du débit d'eaux usées

3.1 Séparation des eaux usées

Afin de diminuer les investissements nécessités par le système de traitement des eaux usées, il a fallu réduire le plus possible le débit de l'eau rejetée par la laiterie en séparant les eaux non contaminées des eaux usées de fabrication et, lorsque c'était possible, réduire la consommation d'eau dans la laiterie.

Les eaux usées non contaminées des sources suivantes ont été déterminées lors d'un relevé des opérations de la laiterie d'Agrinove en 1984 :

Chaufferie :	158 m^3/d
Eau distillée des évaporateurs :	43 m^3/d
Lavage des camions :	92 m^3/d

À cette époque, ces eaux étaient mélangées aux eaux de fabrication avant le rejet.

La séparation de l'eau des chaudières des eaux usées de fabrication ne nécessitait qu'une simple dérivation gravitaire de l'eau non contaminée jusqu'au réseau d'égouts pluviaux. Cette opération a coûté 2 000 $. De la même manière, la dérivation gravitaire de l'eau de trop-plein du circuit des évaporateurs jusqu'au réseau d'égouts pluviaux a coûté 3 000 $.

L'eau utilisée pour laver l'extérieur des camions contenait des impuretés qui auraient compliqué le procédé de traitement proposé si cette eau avait été mélangée aux eaux usées de fabrication. Il a été jugé que le problème pouvait être évité par la dérivation de l'eau de lavage des camions jusqu'à un dessableur. L'effluent liquide du séparateur pourrait alors être déversé directement dans le réseau d'égouts pluviaux. Cette étape, qui nécessitait une réorganisation de l'aire de réception de la laiterie, a été mise en oeuvre en 1990.

La possibilité de réduire la consommation d'eau pour les procédés à l'usine offrait aussi une occasion de réduire les investissements et les frais d'exploitation de l'installation proposée de traitement à la laiterie d'Agrinove. Cependant, après l'examen des différents procédés que compte l'usine, il a été déterminé que le lavage de l'équipement d'évaporation et de pasteurisation était le seul élément dans l'exploitation de l'usine qui présentait un potentiel intéressant de réduction de la consommation de l'eau. Grâce à la modification des cycles de lavage, la consommation d'eau a été réduite d'environ 50 m^3 par jour.

Le tableau 2 donne un résumé des frais engagés par la laiterie d'Agrinove dans la séparation et la réduction du volume des eaux usées non contaminées. La dernière colonne indique la valeur comparative de la séparation par sources. Selon le relevé d'Agrinove, l'eau de la chaufferie doit être détournée en premier, ensuite, l'eau distillée du procédé d'évaporation et, enfin, l'eau de lavage des évaporateurs. Les investissements totaux de 8 500 $ pour la séparation des eaux usées sont peu importants à comparer aux économies obtenues à l'étape du traitement, car il ne reste plus que la moitié du volume d'eau à traiter.

Tableau 2 Investissements comparatifs pour la séparation des eaux usées non contaminées

	Investissements ($)	% d'investissements (a)	Eau dérivée (m^3/d)	% d'eau dérivée (b)	Rapport coûts-avantages (a/b)
Chaufferie	2 000	24	158	63	0,37
Eau distillée	3 000	35	43	17	2,00
Eau de lavage des évaporateurs	3 500	41	50	20	2,10

3.2 Récupération à la source des eaux usées concentrées

Puisque les séparateurs, les évaporateurs et les collecteurs de poudre humide rejettent périodiquement des eaux usées concentrées, la récupération à la source offrait l'occasion de garder concentrés ces sous-produits et, du même coup, de réduire la charge volumétrique qui parvient à l'installation de traitement des eaux usées. Le tableau 3 donne les charges polluantes associées à chacune de ces diverses sources du 28 mai au 8 juin 1984. L'examen du tableau révèle que ces résidus concentrés correspondaient à près de 30 % de la charge polluante quotidienne de la laiterie.

3.3 Charges nettes après la séparation et la récupération

Les différentes mesures d'économie ont été appliquées progressivement. Au moment de la rédaction du présent rapport, l'eau de lavage des évaporateurs devait encore être acheminée séparément, et l'eau de lavage de l'extérieur des camions n'était pas encore détournée. Alors que ces travaux étaient en cours, la laiterie était modernisée; c'est pourquoi il était impossible de mesurer les débits d'eaux usées après l'application des mesures d'économie. Par exemple, les cuves sanitaires à lait qui servaient à la préparation manuelle du fromage étaient remplacées par des coagulateurs automatiques qui ont permis de réduire de quelques mètres cubes le rejet quotidien d'eaux usées de la fromagerie.

Le tableau 4 donne les caractéristiques des rejets de la laiterie lorsque celle-ci fonctionne à pleine capacité. Dans ces chiffres, on tient compte du fait que le collecteur de poudre humide a été temporairement hors service.

Ces deux dernières années, le phosphore sous forme d'acide phosphorique était déversé dans les drains au taux moyen de 30,6 kg de phosphore par jour. Cette valeur, déterminée à partir des commandes d'acide phosphorique, est proche du résultat obtenu lors du relevé des eaux usées de novembre 1983, soit 31,6 kg de phosphore par jour. Des plans ont été dressés afin que l'acide phosphorique soit remplacé par l'acide nitrique. Cependant, l'acide nitrique peut aussi causer des problèmes. Lorsqu'il

Tableau 3 Charges récupérables de sources prises isolément

		DCO (kg/d)	DCO - charge quotidienne (%)
Séparateur	Lactosérum	43	9,65
	Lait	163	
Évaporateur		82	3,83
Collecteur de poudre humide		337	15,75

Tableau 4 Caractéristiques des rejets de l'usine fonctionnant à plein rendement*

	Débit (m^3/d)	DBO_5 (kg/d)
Prévu au début du projet	1 090	990
Actuel	300	450

* Le fonctionnement de l'usine variant de 80 à 100 % de sa capacité a peu d'effet sur les rejets de matières polluantes, qui dépendent principalement du lavage des appareils et non de la durée qu'ils sont en fonctionnement.

est employé dans les installations de traitement biologique, il présente l'inconvénient de provoquer une dénitrification, ce qui entraîne la formation de boues flottantes. L'utilisation de l'acide nitrique pourrait comporter la corrosion de l'équipement, notamment au niveau des joints. Ces risques sont accrus par l'utilisation du chlore pour la désinfection.

L'effet galvanique, commun entre paires de matériaux différents, peut aussi se produire entre un métal et un plastique. Il faut donc utiliser un matériau plastique très amorphe comme le téflon (aussi plus résistant aux produits chimiques et plus coûteux) pour s'assurer qu'un joint ne deviendra pas une fonction galvanique.

Section 4

Procédé de récupération des protéines

Le procédé de récupération des protéines utilisé par Agrinove comprend la coagulation à froid avec des réactifs chimiques qui est suivie d'une séparation solides/liquides par flottation induite par circulation d'air. L'acide sulfurique et le chlorure de calcium et/ou de magnésium sont les réactifs utilisés. On emploie comme additifs l'alginate, la pectine, l'albumine, l'agar-agar, la gélatine, des extraits de caroube et des extraits de mauve. Ces réactifs chimiques et ces additifs sont tous utilisés dans le secteur alimentaire. Leur choix et dosage dépendent des eaux usées à traiter.

4.1 Essais en laboratoire

Les essais de coagulation à froid ont d'abord été effectués sur des échantillons instantanés d'un à dix litres qui étaient prélevés dans l'effluent de la laiterie à 21 °C. La figure 1 donne la réduction de la DCO obtenue. Cette réduction variait de 48 à 64 % et elle était la plus importante lorsque la fromagerie n'était pas en production. La proportion de lactose, non comprise dans le procédé de récupération, diminuait dans les rejets. Dans les échantillons prélevés, la réduction de la DBO_5 variait de 54 à 68 %. Les échantillons instantanés d'effluents terminaux ont été obtenus d'une source où l'eau non contaminée n'avait pas encore été séparée.

La figure 2 permet de constater qu'en général la récupération des protéines n'était pas directement proportionnelle à la concentration de l'effluent à traiter. Bien que l'importance de la récupération des protéines dans des eaux usées concentrées ait tendance à être proportionnelle à la concentration de l'effluent, il n'y a pas cette même relation linéaire lorsqu'il s'agit d'effluent dilué. Ce fait est attribuable aux apports d'eau non contaminée. La figure 2 donne une image plus exacte des matières en suspension extraites des eaux usées. Les matières en suspension extraites comprennent aussi le volume brut de protéines. Ces dernières formaient une crème grumeleuse normalement de couleur ivoire. La teinte peut dépendre aussi des colorants qui servent à la fabrication du cheddar ou du lait caramélisé dans les évaporateurs.

À 9 ou 10 % de matières sèches, les protéines étaient loin d'être aussi fluides que le lait écrémé qui présente la même concentration. On croit que la consistance grumeleuse est attribuable à une perte d'émulsion lors de la coagulation à froid. À cette étape des opérations, les protéines récupérées ne se prêtaient à aucune manipulation ultérieure (c.-à-d. qu'elles obturaient rapidement les buses des séchoirs). Toutefois, ces protéines peuvent être refluidisées par l'ajustement du pH et par l'addition de lactosérum en petite quantité. Le tableau 5 donne les résultats du dosage des protéines récupérées à comparer au lait écrémé et au lactosérum.

4.2 Essais pilotes

Des essais pilotes ont été faits du 26 novembre au 14 décembre 1984 dans des installations capables de traiter toutes les eaux usées de la laiterie. Conformément aux objectifs du projet, toutes les eaux usées des

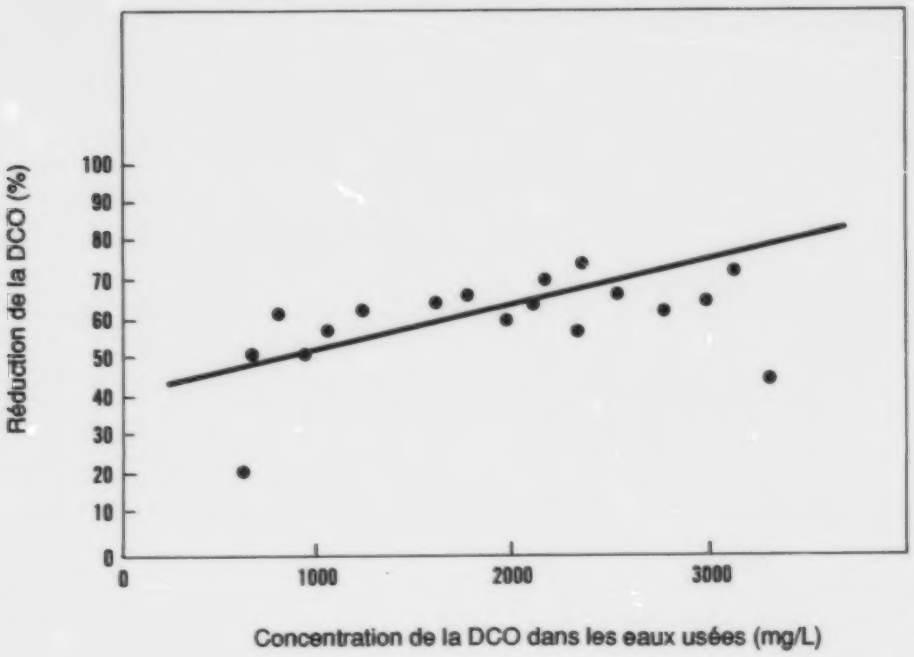


Figure 1 **Réduction de la demande chimique en oxygène en fonction de la concentration dans les eaux usées**

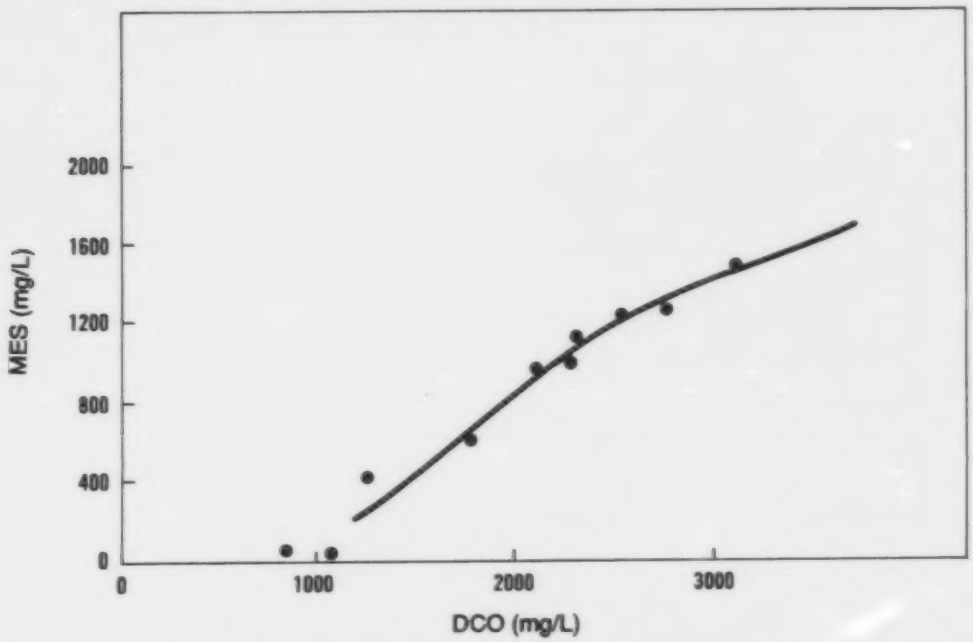


Figure 2 **Récupération des protéines récupérées en fonction de la concentration dans les eaux usées**

Remarque : Ces schémas sont fondés sur des informations extraites de divers échantillons d'eaux usées.

installations sanitaires ont été séparées des eaux de fabrication de la laiterie durant les essais.

La figure 3 donne un schéma du débit du procédé pilote de récupération des protéines. Les eaux usées de fabrication rejetées par la laiterie s'écoulent dans un canal de mesure du débit (1) avant d'être pompées (2) dans un bassin de régularisation (3) qui absorbe les débits de crête et permet l'autoneutralisation des bases et des acides. En outre, le bassin a été aussi conçu pour retenir le sable. En même temps, des organismes micro-aérophiles servent à favoriser la neutralisation biologique de l'eau. De ce point, les eaux usées sont déversées à un taux constant dans un coagulateur (4) où les réactifs sont ajoutés. Les protéines, les matières grasses et le phosphate dicalcique forment un coagulum (c.-à-d. les protéines brutes). Au cours de l'étape finale, les eaux usées sont acheminées vers le séparateur (5) où les protéines brutes sont séparées du milieu lactosé où elles se trouvent.

Il est possible d'ajuster la concentration des matières solides du lait dans les produits récupérés. On a obtenu un taux de siccité des protéines récupérées de 23 %, mais on préfère un taux semblable à celui du lait écrémé. Après fluidisation, les protéines récupérées étaient dirigées vers l'évaporateur et le séchoir. Le produit obtenu à la sortie de l'évaporateur était stable et avait une concentration de matières sèches de 38 %. Durant le séchage, le produit se comportait comme le babeurre de lactosérum.

Lors des essais pilotes, un volume moyen de 351 200 litres de lait était livré à la laiterie; de ce total, 310 300 litres étaient convertis en poudre de lait écrémé; les 40 900 litres restants étaient convertis en fromage. Pendant le temps qu'a duré le programme

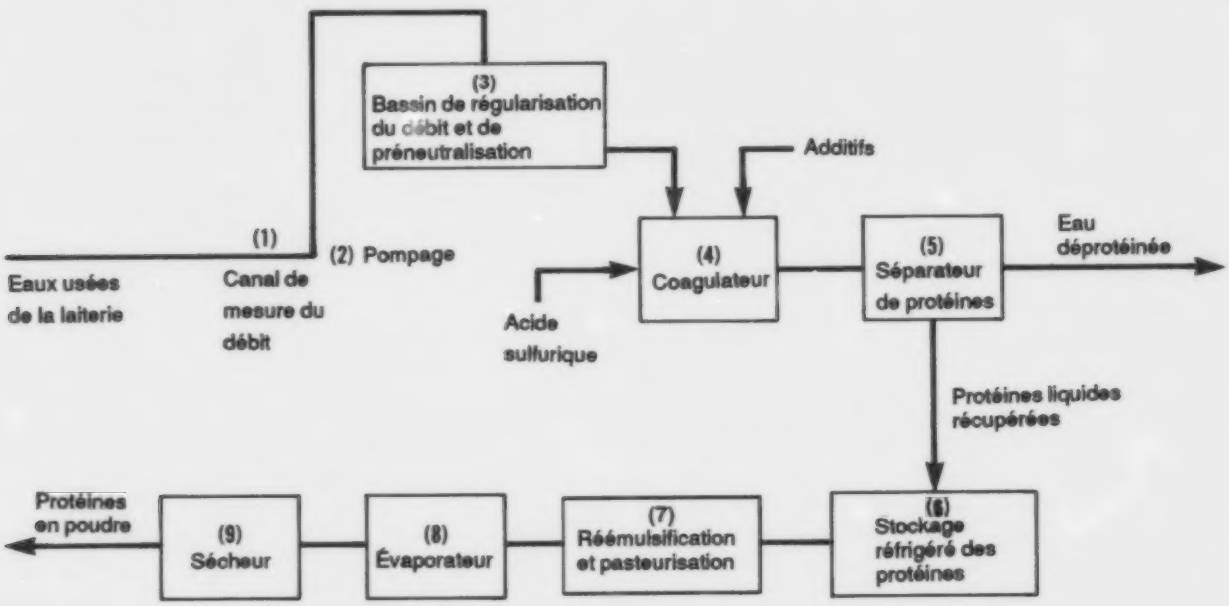


Figure 3 **Procédé de récupération des protéines (utilisé à la laiterie d'Agrinove à Beauceville, Québec)**

Tableau 5 Analyse des protéines récupérées au laboratoire

	Protéines (%)	Matières grasses (%)	Cendres (%)*	Lactose (%)
Protéines récupérées	60	23	12	5
Lait écrémé	37,8	1	7,5	53,7
Lactosérum	13	1,5	9	76,5

* Cette teneur est partiellement attribuable au phosphate dicalcique produit par le traitement.

d'essais pilotes, le débit quotidien moyen d'effluent a été de 460 m^3. La quantité de protéines récupérées en fonction de la charge de la DCO (tableau 6) était plus petite qu'elle ne l'a été durant les essais en laboratoire.

Le tableau 7 donne le rendement de la purification déterminé dans cinq échantillons représentatifs. Ceux-ci ont été prélevés dans un intervalle de 24 heures à l'alimentation et à la sortie de l'installation pilote. Dans le cas de l'azote total Kjeldahl (NTK), le rendement extractif est voisin du taux net de récupération des protéines.

Les rendements indiqués au tableau 7 doivent être corrigés de 50 à 85 % pour tenir compte dans les résultats de la proportion d'ammoniac liquide. Essentiellement, cet ammoniac provient des solutions ammoniacales utilisées en cours de fabrication et correspond à 6,6 % de la concentration d'azote total Kjeldhal. Dans ces conditions, la récupération des protéines s'est faite à un rendement calculé de 53,5 à 91 % durant les essais.

Dans l'hypothèse d'une teneur en protéines qui est 6,29 fois celle de l'azote total Kjeldhal (moins l'ammoniac), le volume calculé de protéines qu'on pouvait réellement récupérer le jour du prélèvement du premier échantillon mentionné au tableau 7 aurait dû être le suivant :

0,056 kg NTK/m^3 × 437 m^3/d × 6,29 kg protéines/kg NTK = 154 kg.

Ce chiffre équivaut à 256,5 kg de protéines brutes qui comprennent 60 % de protéines vraies. Ce jour-là, on a récupéré 210 kg de protéines brutes (2 500 L à 8,4 %), ce qui correspond à un rendement calculé de 210 kg/256,5 kg = 82 %. Cette valeur est supérieure à celle de 77 % qui a été déterminée à partir d'échantillons d'eau. Le résultat pratique de 82 % est le plus représentatif des deux parce que le manque de précision de cette mesure est attribuable seulement à la balance utilisée pour peser les protéines récupérées. Les rendements déterminés à partir des échantillons d'eau comportaient une part plus grande d'erreur à cause du procédé d'échantillonnage.

Le sulfate de calcium, formé par l'acide sulfurique et le sel de calcium injecté, n'était à la source d'aucun problème. La concentration de ce sel dans l'eau au cours du traitement était de seulement 300 à 600 mg/L. Lors de l'évaporation et du

Tableau 6 Récupération des protéines en fonction de la demande chimique en oxygène de l'eau à traiter

DCO (mg/L)	MES (mg/L)
2 070	620
3 030	1 050
2 600	890
2 740	850
1 900	490

Tableau 7 Résultats du prétraitement

	DBO_5	DCO	NTK*	P Total**	Matières grasses
1er échantillonnage (437 m^3/d)					
Eaux usées à l'entrée (mg/L)	1 140	2 070	56	94	120
Eaux usées prétraitées (mg/L)	645	1 170	28	91	17
Rendement (%)	43,4	43,5	50	3,2	85,8
2e échantillonnage (458 m^3/d)					
Eaux usées à l'entrée (mg/L)	1 600	3 030	85	112	580
Eaux usées prétraitées (mg/L)	590	1 070	13	95	32
Rendement (%)	63	65	85	15	94,5
3e échantillonnage (467 m^3/d)					
Eaux usées à l'entrée (mg/L)	1 300	2 600	73	66	240
Eaux usées prétraitées (mg/L)	550	1 060	16,5	54	21
Rendement (%)	58	59	77	18	91,3
4e échantillonnage (487 m^3/d)					
Eaux usées à l'entrée (mg/L)	1 380	2 740	84	87	690
Eaux usées prétraitées (mg/L)	600	1 230	25	54	30
Rendement (%)	56,5	55	70	38	95,7
5e échantillonnage (502 m^3/d)					
Eaux usées à l'entrée (mg/L)	950	1 900	51	48	330
Eaux usées prétraitées (mg/L)	530	970	18	41	21
Rendement (%)	44	49	65	15	93,6

* NTK = azote total Kjeldhal

** P total = phosphore total

séchage, la concentration de ce sel s'est élevée au-dessus du plafond de solubilité de 2 000 mg/L. Cependant, la précipitation résultante s'est produite dans un milieu à très forte concentration de matières organiques. Ce milieu a agi comme un agent de chélation semblable à la matière organique utilisée pour empêcher l'entartrage des chaudières à vapeur. Lorsqu'il est dispersé et enduit de matière organique, le sulfate de calcium n'est pas en mesure de provoquer de l'entartrage. Cependant, tout l'équipement a été nettoyé au moins une fois aux 20 heures. Tout entartrage attribuable au sulfate qui se serait formé durant ce temps ne pouvait pas résister au lavage au nitrate. Mieux encore, le dépôt de sulfate contenait quelque dépôt de carbonate qui était attaqué par l'acide et dispersait les cristaux de sulfate de calcium.

4.3 Installation en grandeur réelle de récupération des protéines

Après les essais pilotes, l'équipement temporaire qui avait servi dans l'installation pilote a été remplacé par l'équipement définitif. Un pasteurisateur a été ajouté par la suite. L'installation occupe présentement un édifice attenant à la laiterie.

En mai 1986, les échantillons d'eau prélevés avant et après le prétraitement ont été examinés (tableau 8). À l'époque, un certain nombre d'opérations visant à séparer les eaux non contaminées étaient en cours, mais les dérivations n'étaient pas terminées.

Le tableau 9 donne les résultats des essais d'évaporation et de séchage sur les protéines récupérées. Au moment de cet examen, l'installation de récupération des protéines ne fonctionnait pas la nuit et les fins de semaine. En outre, le dispositif d'injection des réactifs n'était pas encore en place, et, au commencement, l'eau de lavage des évaporateurs était dérivée vers le séchoir au lieu d'être envoyée à l'égout. C'est pourquoi le tableau 9 ne doit pas servir au calcul des bilans de masse. L'objectif de ces essais était la détermination de la faisabilité de produire une poudre dont la qualité serait constante.

L'installation de récupération des protéines est passée en opération en juillet 1987. Comme elle est entièrement automatique, elle a commencé à fonctionner dès que des effluents ont été produits par la laiterie. Au cours de l'été, la production de protéines brutes récupérées a été de 200 à 250 kg par jour. Elle est passée entre 100 et 150 kg par jour au cours de l'hiver (tableau 10).

Si l'on extrapole sur une année les quantités de la récupération réelle de protéines (soit de 200 à 250 kg par jour l'été et de 100 à 150 kg par jour l'hiver), on évalue la

Tableau 8 Récupération des protéines à grandeur réelle : examen préliminaire (mai 1986)

	Débit (m^3/d)	DBO_5 (kg/d)	NTK (kg/d)	P total (kg/d)
Avant le prétraitement	275	379	25	17,9
Après le prétraitement	275	165	3,5	13,5
Taux récupéré	-	56,5 %	86 %	24,6 %

Tableau 9 Essais d'évaporation et de séchage

Date de fabrication (a m. d)	Nombre de sacs	Quantité/ sac (kg)	Matières grasses (%)	Humidité (%) (eau libre)	Protéines (%)	Cendres (%)	Bactéries mésophiles/g	Bactéries thermophiles/g	Levures moisissures/g	Coli-formes/g	pH
86 05 16	15	14	25,5	4,40	59	8,46	7 000	4 600	<1	<1	6,42
86 05 23	21	15	23,0	5,0	50	14,55	20 000	7 000	<1	<1	6,12
86 05 30	18	15	20,3	4,02	55,7	9,07	120 000	9 200	<1	<1	7,2
86 06 06	32	15	23,3	4,36	49,11	13,18	180 000	45 000	<1	<1	6,4
86 06 13	27	15	22,5	6,79	58	9,25	20 000	4 800	<1	<1	6,5
86 06 23	20	15	21,7	6,26	59,74	9,43	51 000	9 900	2	<1	6,73
86 07 04	38	15	38,74	—	42,4	—	140 000	9 000	100	<1	6,9
86 08 08	30	15	17,42	3,55	24,98	7,44	310 000	180 000	5	<1	5,88
86 08 14	64	15	13,54	4,15	30,34	8,91	110 000	260 000	1	<1	5,6
86 08 22	36	15	15,5	4,0	27,6	8,2	—	—	—	—	—
86 08 29	21	15	17,5	3,97	35,8	8,27	1 200	10 000	1	<1	5,34
86 09 04	15	25	11,87	8,26	31,0	9,8	5 000	60 000	1	<1	4,90
86 09 12	19	15	31,86	3,48	48,11	10,46	9 000	16 000	<1	<1	6,59
86 09 18	21	15	37,5	5,18	42,94	10,04	20 000	84 000	1	<1	6,51
86 09 24	27	15	34,5	4,6	40,90	8,78	5 000	2 900	<1	<1	6,44
86 09 30	22	15	33,8	4,95	49,3	8,63	6 000	15 000	<1	<1	6,29
86 10 06	27	15	37,2	2,95	43,9	10,28	3 000	3 000	<1	<1	6,0
86 10 15	15	15	32,54	3,90	45,08	13,44	72 000	43 000	<1	<1	6,48
86 10 21	12	15	29,80	4,45	48,53	9,70	16 000	26 000	<1	<1	6,13

Tableau 10 Produit liquide récupéré

Date (a m. d)*	Total récupéré (kg)	Lactose (kg)	pH (20 °C)	Matières solides totales (%)	Matières grasses (%)	Protéines (%)	Cendres (%)	Protéines brutes/d (kg matières sèches)
87 08 26	6 720	—	4,35	6,71	2,39	3,79	0,305	—
87 08 27	4 160	—	4,30	5,58	2,32	2,58	0,237	232
87 09 25	5 130	—	5,46	9,58	3,53	4,08	0,82	246
87 10 13	3 950	40	5,02	7,08	2,80	3,38	—	140
87 10 16	4 660	10	5,25	6,51	2,60	2,80	—	152
87 10 19	4 600	30	4,95	6,56	1,66	3,53	—	151
87 10 23	4 600	20	5,38	6,04	2,64	2,77	—	139
87 10 27	5 420	—	5,02	6,20	2,75	2,49	—	112
87 11 03	4 770	70	5,15	5,69	2,46	2,48	—	136
87 11 25	6 340	50	5,44	6,08	2,31	2,76	—	128
87 11 12	8 610	40	—	—	—	—	—	—
87 11 17	8 730	40	5,38	7,78	4,02	3,14	—	136
87 11 20	6 350	40	4,86	13,38**	7,05	4,22	—	283**
87 11 25	8 070	110	5,03	6,64	1,81	3,22	—	107
87 11 27	4 150	40	5,22	8,80	2,25	4,22	—	183
87 12 01	5 980	60	5,15	6,61	2,41	2,78	—	99
87 12 04	5 910	70	5,04	8,86	3,80	3,86	—	174
87 12 08	5 080	70	5,24	8,70	3,26	4,27	—	110

* La date où des analyses ont été faites sur un échantillon prélevé dans un contenant rempli de protéines liquides depuis une ou plusieurs journées.

** Les niveaux excessifs sont attribuables à des accidents dans la laiterie.

production annuelle de protéines brutes entre 50 et 60 tonnes par année ou environ 180 kg par jour (les résultats sont exprimés en poids sec).

Il est à noter que l'édifice qui abrite l'installation n'est pas chauffé par des moyens courants, même l'hiver. En effet, la chaleur dégagée par l'effluent suffit à maintenir l'air à une température agréable. La chaleur de cet effluent a été utilisée trois fois de suite : lors du traitement dans la laiterie, pour chauffer l'installation de récupération des protéines et pour aider au traitement biologique. C'est tirer un excellent rendement thermodynamique de cet effluent. Bref, le prétraitement offre l'avantage d'assurer la récupération des protéines tout en amoindrissant les investissements et les frais d'exploitation de l'installation de traitement.

Section 5

Traitement biologique des eaux usées à la laiterie d'Agrinove

La laiterie d'Agrinove utilise un procédé d'aération prolongée à bassins utilisés séquentiellement (sans sédimentation séparée) pour traiter ses eaux usées. À la sortie du prétraitement, le rapport DBO_5/N/P des eaux usées est de 200/4,2/5,3. Avant qu'elle passe dans le système de traitement, l'eau prétraitée est mélangée à l'eau des installations sanitaires, ce qui fait passer le rapport précité à 200/5,3/5,4, c'est-à-dire que l'azote et le phosphore dépassent la concentration requise pour l'aération prolongée (200/5/1).

Depuis sa mise en service, l'usine de traitement des eaux usées n'a eu aucun problème; en cinq ans de service, on n'a jamais observé de gonflement des boues. Bien que l'eau prétraitée soit à pH 4,2, l'eau du bassin et à la sortie de celui-ci est toujours près du pH neutre. À pH 4,2, l'eau exerce un effet bactériostatique qui empêche la prolifération d'une flore déstabilisante. En outre, les quelques micro-organismes qui peuvent se trouver dans les effluents de laiterie sont durement éprouvés dans le bassin de régularisation, où le pH se situe généralement entre 11 et 12. Ceux qui survivent sont soumis à un choc lorsqu'ils pénètrent dans le système de prétraitement, car le pH tombe subitement de 7 unités.

La flore épuratrice du bassin d'aération est assimilée à un substrat d'origine laitière à 98 %. Les micro-organismes associés aux 2 % restants de la pollution (eaux des cabinets d'aisance) sont d'importance mineure. Ils sont phagocytés, comme on le voit par la diminution de quatre à cinq points décimaux de la concentration en coliformes fécaux dénombrés dans l'eau traitée par rapport à leur concentration dans les eaux des cabinets d'aisance non traitées. L'installation assure sa propre désinfection.

Le froid ne semble pas nuire au fonctionnement de l'usine de traitement. En janvier 1988, l'effluent traité présentait les caractéristiques suivantes : DBO_5, 40 mg/L (la norme est de 60 mg/L l'hiver); DCO, 165 mg/L; et phosphore, 2,45 mg/L. La boue retirée du bassin d'aération est dirigée vers un étang à boues désaffecté. L'eau surnageante de l'étang est reprise dans l'usine de traitement. Durant la saison de croissance, la boue est offerte comme engrais aux fermiers. Sans un prétraitement, il y aurait davantage de boues produites et il faudrait procéder à une déshydratation mécanique qui est coûteuse sur le plan des investissements comme sur celui de l'exploitation.

Section 6

Débouchés pour les protéines récupérées

6.1 Analyses

On trouvera les analyses des protéines récupérées liquides et en poudre aux tableaux 10 et 11, respectivement. Dans le cas des protéines en poudre, on a fait des mesures multiples des acides aminés, des acides gras et des éléments traces (tableaux 12 à 14).

La teneur protéique du produit récupéré est élevée à comparer à celle d'autres produits communs du lait (figure 4). Par contre, la teneur en lactose est faible, ce qui est intéressant pour plusieurs raisons reliées à la nutrition; il en sera question plus loin. Pour ce qui est des minéraux, le potassium et le calcium sont trouvés en faible concentration dans les protéines récupérées parce que la fraction soluble de ces éléments n'est pas retenue par l'installation. Par ailleurs, la teneur en phosphore est supérieure à ce qu'elle est dans le lait à cause de l'acide phosphorique ajouté au cours du lavage. Les protéines liquides sont stockées à pH 4,2, un niveau bactériostatique. Avant la pasteurisation et l'utilisation, l'acidité de ces protéines est réduite à 0 °Dornic, ce qui se traduit par un pH final de l'ordre de 6,8.

Les chiffres donnés entre parenthèses, des analyses du lait brut, correspondent à la moyenne de plus d'un million d'échantillons prélevés dans du lait commercialisé.

6.2 Essais nutritionnels

Les nutritionnistes s'entendent pour dire que les protéines animales sont supérieures aux protéines végétales. Les protéines du lait se classent très bien par rapport à de nombreux critères de qualité tels que le coefficient de digestibilité, la valeur biologique, l'utilisation protéique nette et le coefficient d'efficacité protéique. Les protéines récupérées ont été soumises à l'essai comme moulée pour le porc et le veau ainsi qu'en aquiculture.

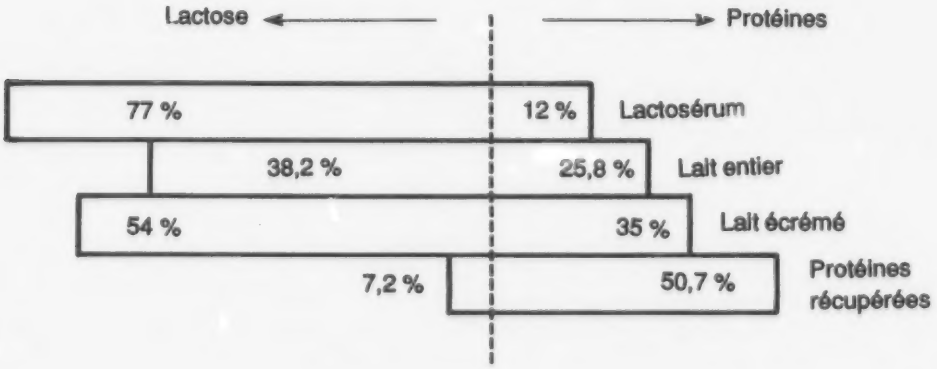


Figure 4 Teneur en protéines et en lactose de différents produits

Tableau 11 Analyse moyenne du produit en poudre récupéré

Protéines	50,73 %	(25,82 %)
Matières grasses	31,16 %	(30,62 %)
Cendres (y compris le phosphate dicalcique ajouté)	10,88 %	(5,76 %)
Lactose	7,23 %	(38,16 %)
Mésophiles	39 000/g	
Thermophiles	18 000/g	
Levures et moisissures	1/g	
Coliformes	1/g	
Digestibilité	70,92 % des protéines digestibles à la pepsine	

Remarque : La poudre contient 3,8 % d'eau, ce qui n'est pas indiqué afin de permettre la comparaison avec l'extrait sec du lait brut.

Tableau 12 Distribution des acides aminés dans le produit récupéré

Acide aminé	%
Acide aspartique	8,17
Thréonine	4,36
Sérine	5,49
Acide glutamique	18,97
Proline	7,91
Glycine	2,42
Alanine	3,80
Cystine	4,34
Méthionine	2,55
Isoleucine	4,81
Leucine	9,79
Tyrosine	4,61
Phénylalanine	4,72
Histidine	2,41
Lysine	7,06
Arginine	2,95
Valine	5,69

Remarque : Les résultats sont exprimés en pourcentage du total des 17 acides aminés qui ont été dosés. Le produit en poudre récupéré contient davantage de cystine que l'analyse ne l'indique, car la cystine est partiellement dénaturée durant l'hydrolyse avant la mesure. Le tryptophane a été complètement dénaturé et ne figure pas au tableau. Il faut tenir compte de ces observations lors de la comparaison de ce tableau avec d'autres où figurent d'autres produits.

Tableau 13 Distribution des acides gras dans les protéines récupérées

Proportion	Acide gras	%
8:0	Octanoïque	0,446
10:0	Décanoïque	2,487
12:0	Laurique	3,419
14:0	Myristique	12,423
14:1	Myristoléique	2,527
16:0	Palmitique	29,734
16:1	Palmitoléique	3,137
18:0	Stéarique	10,443
18:1	Oléique	21,761
18:2ϖ6	Linoléique	2,231
18:3ϖ3	Linolénique	0,784
18:4ϖ3	Octodécatétraénoïque	0,404
Autres	(19 acides détectés)	10,204

Tableau 14 Analyse minérale des protéines en poudre récupérées

Élément	Protéines récupérées (ppm)	Lait en poudre (ppm)
Cuivre	102	22
Phosphore	6 800	6 500
Potassium	6 000	10 300
Magnésium	750	800
Calcium	4 500	8 700
Plomb	0	0

6.2.1 Alimentation du porc

Une porcherie qui faisait l'élevage de 260 porcs a acheté les protéines récupérées. Les porcs avaient deux mois à leur arrivée dans la porcherie et pesaient 15 kg. Ils en pesaient de 75 à 80 lorsqu'ils ont été vendus quatre à cinq mois plus tard. Les premières protéines liquides ont été livrées en octobre 1987, mais l'étude approfondie du nouveau système d'alimentation n'a pas commencé avant janvier 1988. Les premiers résultats chiffrés seront disponibles en mai 1988.

Les protéines étaient stockées dans plusieurs cuves d'acier inoxydable semblables à celles utilisées dans les fermes pour le stockage du lait. De ce point, une pompe permettait de distribuer les protéines par le circuit d'alimentation en eau potable; les porcs s'abreuvaient librement. Au commencement, les protéines étaient distribuées pendant 12 heures chaque jour, et on rétablissait l'eau la nuit. Il a été constaté que la ration alimentaire constituée d'eau et de protéines était adéquate pour nourrir le porc, et c'est pourquoi le

rétablissement de l'eau la nuit a été interrompu.

Un supplément alimentaire (d'environ 50 %) a été donné sous forme de granules secs formulés en fonction des résultats moyens du dosage des protéines récupérées. Ces granules contenaient aussi des fibres essentielles aux porcs. Ils étaient moins chers que ceux précédemment administrés comme seul aliment. L'éleveur nous a communiqué les observations provisoires suivantes relativement aux effets des suppléments alimentaires :

1) Les porcs étaient résistants et en bonne santé; ils grossissaient plus vite avec l'addition des protéines liquides qu'avec les granules seulement. Le gain était d'au moins une semaine en quatre mois. Probablement à cause de la richesse des protéines en acides aminés soufrés, les soies étaient plus soyeuses.

2) Il y a eu moins de cas de diarrhée et plus aucun cas de selles diarrhéiques striées de sang. (L'utilisation pour le porc sur une base volontaire du lactosérum appelle certains commentaires. Lorsqu'ils ingèrent du lactosérum, les porcs sont exposés à souffrir de diarrhée abondante, ce qui se traduit par une morbidité et une mortalité accrues. La diarrhée est attribuable à la teneur très élevée en lactose du lactosérum. Comme les protéines récupérées ne contiennent du lactose qu'en petite quantité, les risques de diarrhée paraissent être négligeables. À la teneur où on le trouve dans les protéines récupérées, le lactose facilite l'assimilation du calcium.)

3) Le volume de lisier semi-liquide a diminué d'au moins 10 à 15 %. Toutefois, l'odeur du lisier est encore plus intense.

Ce procédé donne des résultats encourageants pour les laiteries qui exploitent des porcheries à des fins de gestion des résidus de laiterie.

6.2.2 Alimentation du veau

Les protéines ont été incorporées à l'alimentation en lait habituelle des veaux. Des essais sont en cours.

6.2.3 Aquiculture

Une étude a été faite dans un centre de recherche aquicole sur l'achigan à petite bouche *Micropterus dolomieui;* l'objectif était la détermination de la valeur des protéines brutes à des fins d'aquiculture. Les protéines ont été administrées aux poissons, seules ou en association avec de petites crevettes *Artemia salina.* D'autres produits commerciaux ont été soumis à l'essai par la même occasion. La mortalité, le cannibalisme, la longueur et le poids ont été les paramètres mesurés durant l'étude.

La figure 5 donne une version intégrée des résultats de l'étude. Il a été constaté que d'administrer uniquement des protéines récupérées n'était pas adéquat; fait intéressant, toutefois, le cannibalisme se trouvait considérablement réduit (figure 6). Sur la foi de ces résultats initiaux, on a fait de la recherche pour mettre au point un aliment pour crustacés. Des travaux faits dans les Philippines, qui assurent 80 % de la production mondiale de crevettes d'élevage, confirment l'excellente valeur de cet aliment.

6.3 Shampoings aux protéines

L'hydrolyse acide des protéines récupérées après leur purification donne un hydrolysat fort bien adapté aux shampoings aux

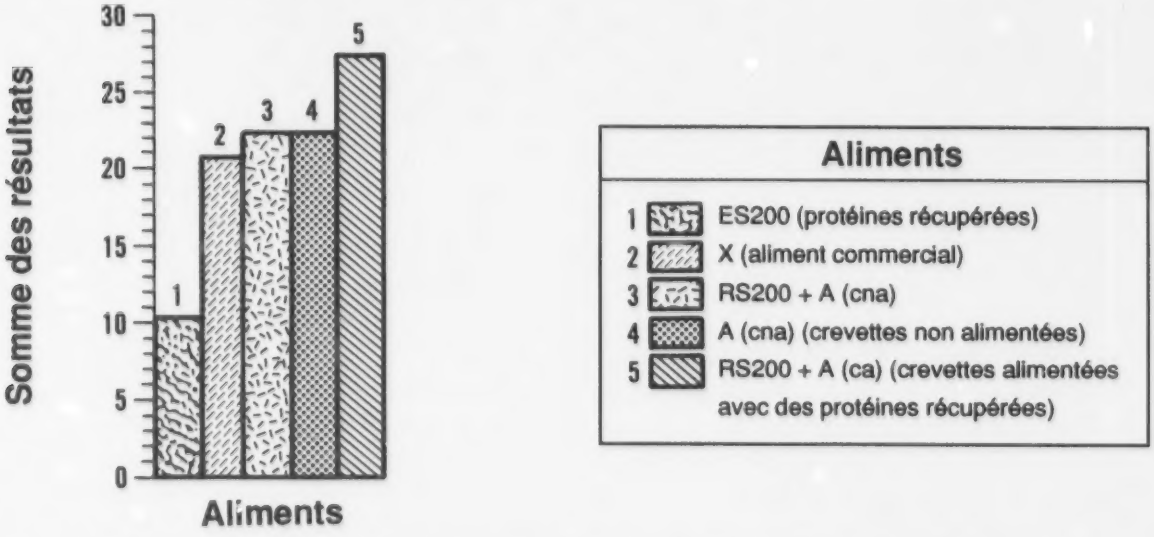
protéines. La présence d'impuretés dans le produit de base confère une couleur jaunâtre au produit. C'est sans importance lorsque le shampoing a une couleur semblable, mais, lorsque ce n'est pas le cas, il serait préférable d'utiliser une source protéique parfaite avec ce type de produit.

L'hydrolyse acide constituait un point de départ seulement dans la recherche sur les possibilités d'application aux shampoings aux protéines (l'acidité agit sur les acides aminés sulfurés qui sont utiles à l'entretien capillaire). On a fait des progrès dans le sens d'une hydrolyse enzymatique, qui ne dénature pas les composants des protéines. La faible teneur en lactose des protéines récupérées rend celles-ci supérieures à la poudre de lait comme matière brute.

6.4 Débouchés

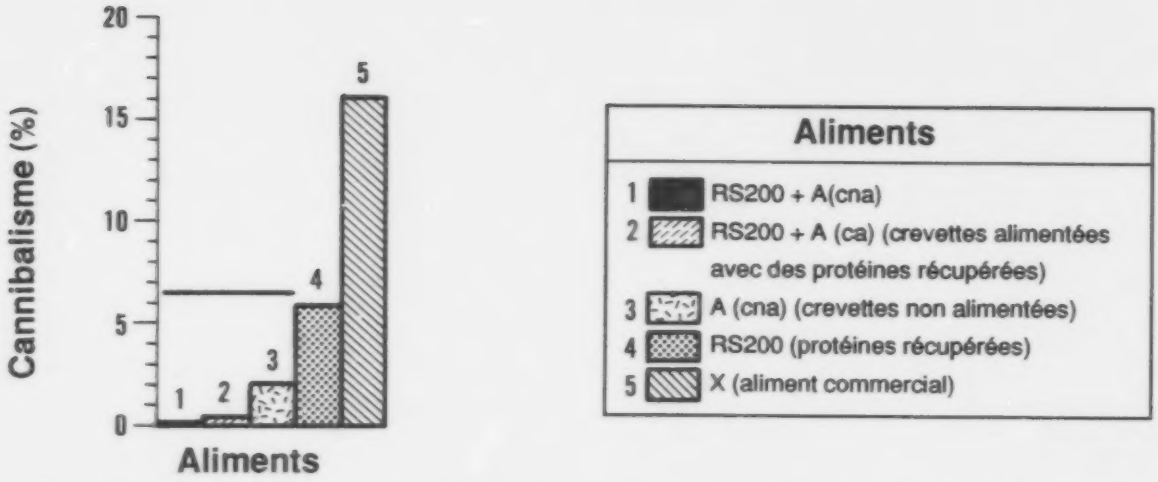
Les protéines peuvent être commercialisées sous forme liquide à la sortie de l'installation, être concentrées ou offertes sous forme de poudre. La concentration permet d'élargir le territoire de vente, mais ce n'est pas là une règle absolue, car même les petites laiteries peuvent trouver des marchés locaux intéressants où écouler les protéines en poudre. La période d'amortissement dépend des marchés locaux pour les protéines.

Pour l'instant, l'aquiculture constitue le marché le plus lucratif. Par exemple, la culture de la crevette rapporte 12 $ le kilogramme par rapport à un montant variant de 0,60 $ à 1 $ le kilogramme pour le porc (tous les prix sont franco à bord à la ferme). À niveaux égaux de production, le roulement de la culture de crevettes est 12 à 20 fois celui de l'engraissement des porcs. La période d'amortissement d'une installation de récupération des protéines orientée vers le marché de l'aquiculture est de seulement une année et demie.



(Les résultats nutritifs comprennent le taux de survie, le poids, la longueur, l'homogénéité des populations, un facteur relatif à l'état, le cannibalisme et la biomasse. La barre la plus grande correspond à la meilleure performance.)

Figure 5 Résultats nutritifs chez le poisson



(La ligne horizontale correspond aux régimes alimentaires qui ne donnent lieu à aucun écart significatif (p inférieur à 0,05) selon la méthode de Duncan par comparaisons multiples.)

Figure 6 Effets de différents produits alimentaires sur le cannibalisme

Dans certains pays, on utilise la poudre de lait destinée à la consommation humaine comme aliment pour la culture de la crevette, car l'exportation de ce crustacé très en demande partout dans le monde rapporte plus que la vente de la poudre de lait. Il en est ainsi même si la poudre de lait est très en demande sur le marché intérieur. Les protéines peuvent aussi servir d'aliment pour les oiseaux de basse-cour. Les essais préliminaires sur des perruches ont donné des résultats encourageants.

L'alimentation des animaux à fourrure constitue un autre débouché pour les protéines récupérées. Par exemple, le vison est nourri au lait pendant quelques semaines avant la récolte des peaux pour donner un aspect lustré à la fourrure et en accroître ainsi la valeur. À n'en pas douter, les protéines récupérées peuvent donner des résultats au moins équivalents puisqu'elles proviennent de protéines dérivées du lait.

Il reste beaucoup d'options à explorer, notamment dans les secteurs lucratifs des hydrolysats protéiniques, de la production d'acides aminés et dans celui des cosmétiques. Dans les secteurs classiques, de plus en plus de regroupements laitiers diversifient leurs activités en fabriquant des comprimés destinés aux animaux d'élevage. Les protéines végétales (céréales, fourrage, etc.) sont moins nutritives que les protéines animales. Toutefois, leur combinaison dans les aliments donne de meilleurs résultats, comme le révèlent les résultats de l'engraissement des porcs.

Par la fabrication sur place des comprimés, les protéines récupérées peuvent être incorporées directement dans les aliments destinés aux animaux d'élevage; on supprime ainsi les frais liés au stockage et au transport. La teneur en protéines des comprimés peut donc être portée bien au-dessus des 18 à 22 % habituels. En outre, l'odeur de lait des aliments attire habituellement les animaux qu'on veut nourrir.

Section 7

Aspects économiques

Un procédé efficace de récupération des protéines peut être installé à peu de frais lorsque le volume de lait livré à une laiterie est de 10 000 L par jour ou plus.

7.1 Investissements nécessités pour une installation de récupération des protéines

Les investissements requis dépendent du volume d'eaux usées à traiter et ne peuvent être mis en corrélation avec le volume de lait traité par la laiterie. Voilà pourquoi il faut se référer à un débit d'effluent afin de définir la grandeur d'une installation. Dans tous les cas, l'installation de récupération des protéines sera compacte et pourra souvent être logée dans les bâtiments existants. C'est pourquoi le coût des travaux de génie civil n'est pas considéré dans la présente analyse financière. Il est préférable d'isoler l'installation de récupération des protéines de la laiterie en installant des cloisons.

Comme les laiteries sont toutes différentes, il est impossible de spécifier un volume nominal pour le bassin de régularisation qui doit recevoir l'effluent de l'usine. Ce bassin peut être en béton ou en métal. Le recours à des citernes de métal pourrait se révéler être la solution la plus appropriée dans les laiteries puisqu'on y trouve habituellement des cuves sanitaires, des réservoirs, des bassins et autres qui sont gardés en rechange.

Avant de s'engager dans tout projet de récupération des protéines, on serait avisé de procéder à une inspection des lieux afin de réduire le débit des eaux usées. Dans la laiterie d'Agrinove, ce débit a été réduit de 50 %.

Les prix indiqués ci-après, en dollars canadiens (mars 1988), sont ceux d'équipement franco à bord trouvé à Montréal; ils comprennent l'installation et le démarrage dans un rayon de 250 km de Montréal.

Il faut 40 m^2 de superficie pour une petite installation et 100 m^2 pour une grande. Il est préférable que la laiterie ait recours, si possible, à un bassin de régularisation qui se trouve sous la dalle qui supporte l'installation, ou encore dans un autre endroit approprié, de façon à gagner de l'espace. Ainsi, est-il possible de réduire la superficie nécessaire à 25 m^2 dans le cas d'une petite installation (5 m^3/h) et à 60 m^2 dans l'autre (50 m^3/h). Une installation de traitement biologique nécessiterait cinq à dix fois plus d'espace.

Une petite installation automatisée, entièrement en acier inoxydable et capable de traiter un effluent au taux de 5 m^3/h ou 120 m^3/d, coûterait 95 000 $. Une grande installation, entièrement en acier inoxydable et capable de traiter un effluent au taux de 50 m^3/h ou 1 200 m^3/d, coûterait 160 700 $. Si le dispositif de pasteurisation est inclus, il faut ajouter 80 000 $ au budget prévu; le stockage des protéines en milieu réfrigéré est prévu dans ce montant. Cependant, les laiteries ont souvent des pasteurisateurs inutilisés dont la valeur peut être déduite des investissements nécessaires (c'était le cas à la laiterie d'Agrinove).

7.2 Frais d'exploitation

Les bilans annuels suivants proviennent de la laiterie d'Agrinove (de décembre 1986 à décembre 1987). Les frais d'exploitation indiqués en a), qui correspondent aux données dérivées du projet pilote, sont calculés en fonction de la récupération de 55 tonnes par année de produit sec constitué à 50 % de protéines. L'installation du projet pilote fonctionnait à un débit de 400 à 500 m^3 par jour. À partir de ces coûts, il est possible de déterminer des estimations prudentes des frais d'exploitation d'une installation qui pourrait traiter 1 200 m^3/d d'effluent. Avec un investissement initial de 250 000 $, ce qui couvrirait notamment la pasteurisation et la modernisation de la laiterie pour réduire le débit d'eau, les frais estimatifs d'exploitation d'une installation de 1 200 m^3/d seraient comme ceux présentés en b).

a)	Acide sulfurique	9 517,20 $
	Réactifs	5 705,10 $
	Énergie (0,0135 $ /KWh)	837,00 $
	Total	10 059,30 $
b)	Immobilisations (20 ans)	12 500,00 $
	Intérêts	12 500,00 $
	Personnel	10 000,00 $
	Énergie	2 000,00 $
	Produits chimiques	60 000,00 $
	Entretien	10 000,00 $
	Total	107 000,00 $

Selon l'hypothèse voulant que les effluents rejetés contiennent en moyenne 85 mg/L d'azote d'origine organique (tableau 1), soit 535 mg/L de protéines, et que le taux de récupération soit de 85 %, il est possible de récupérer :

535 g/m^3 × 85 % × 1 200 m^3/d × 310 d/a = 170 tonnes par année de protéines vraies, c'est-à-dire 340 tonnes par année de protéines à 50 %.

Par conséquent, le coût du procédé de récupération/prétraitement des protéines (compte tenu de la dépréciation) s'élève à :

107 000 $ par année/340 000 kg par année = 0,32 $ par kg de protéines brutes récupérées.

À la comparaison des coûts de la récupération d'un kilogramme de protéines brutes et de l'épuration biologique d'un volume égal de protéines, on constaterait que le coût de l'épuration est deux à trois fois supérieur à l'autre et que la boue biologique ne se vend pas.

Selon le marché, le prix de vente des protéines varie considérablement. On ne gagne rien à connaître le prix du soya, une protéine végétale, qui n'a pas l'équilibre en acides aminés du lait. La comparaison avec le prix de la poudre de lait ou avec celui des protéines du lactosérum récupérées sur membrane est plus appropriée. Ces dernières sont vendues 1,95 $ le kilogramme de poudre. Bien que le marché des protéines déshydratées soit plus lucratif que les autres, il faut ajouter le coût du séchage (c.-à-d. 0,68 $/kg) au coût des protéines liquides récupérées, ce qui fait passer à 1 $ (dépréciation comprise) le coût de production d'un kilogramme de poudre de protéines à 50 %.

Les protéines se prêtent très bien à la préparation d'aliments fins tels que ceux

employés en aquiculture* pour les organismes aux stades larvaire et postlarvaire. Des prix de 24 $ le kilogramme sont chose courante pour les produits destinés à l'aquiculture. Ce type de marché devrait être examiné en premier lieu comme débouché viable pour les protéines récupérées.

Lorsque les protéines récupérées sont livrées directement à une fabrique d'aliments pour les animaux d'élevage ou pour les chiens et les chats au lieu d'être pasteurisées et stockées, le coût de ces protéines (en poids sec) tombe à 0,28 $ le kilogramme. La pasteurisation n'est plus nécessaire, car la production des comprimés assure le traitement thermique nécessaire.

7.3 Comparaisons économiques

La présente section porte sur les comparaisons économiques d'une installation de prétraitement et de récupération des protéines jumelée à une usine de traitement biologique et d'une usine de traitement biologique qui purifierait directement tous les rejets. Le rendement du prétraitement a été fixé à 50 % de récupération des protéines.

Dans un article inédit, D. W. Bisset, d'Environnement Canada, a réparti en trois classes les laiteries dont les rejets étaient constitués d'eaux usées en volume de 1 090 L et de DBO_5 équivalente à 2,63 kg par 454,5 kg d'équivalent de lait** (EL) (tableau 15).

Deux procédés d'épuration biologique ont servi aux comparaisons économiques : un procédé d'aération prolongée (c.-à-d. étang aéré) et un dispositif compact par boues activées (tableaux 16 et 17). Aux fins des calculs, il est supposé que les protéines récupérées sont vendues au prix coûtant, sans profit. Les investissements sur 20 ans sont donnés pour tous les procédés.

Le tableau 18 donne une comparaison des frais d'exploitation associés à la récupération des protéines et de ceux associés à l'épuration biologique. Aux fins de cette comparaison, il a été supposé qu'un kilogramme de protéines alimentaires équivalait à un kilogramme de matières à l'origine de la DBO_5. Les protéines sont produites sous forme liquide à une concentration de 8 à 10 %. La figure 7 donne les résultats du tableau 18 sous forme graphique.

Le procédé de récupération des protéines est rentable même si ces protéines ne sont pas utilisées, car cette façon de dépolluer est moins coûteuse que les méthodes classiques de traitement. En outre, ce procédé est rapide, car il n'est fondé que sur des méthodes physico-chimiques de traitement. L'installation parvient à l'équilibre quelques heures seulement après avoir été mise en service, alors que les installations classiques de type biologique y mettent plusieurs semaines.

Le procédé permet à une entreprise d'échelonner ses investissements. On peut

---

* Les particules protéiques des protéines récupérées ont un diamètre moyen inférieur à 5 micromètres; elles sont donc facilement assimilables par les organismes filtreurs ou ceux qui ont une bouche étroite. Il est possible de donner un diamètre qui peut atteindre quelques centimètres à ces particules qui pourraient ainsi servir à l'alimentation de poissons de plus grande taille.

** Le terme «équivalent de lait» désigne la quantité de lait brut nécessaire pour produire une unité d'un produit laitier déterminé. Par exemple, l'équivalent de lait d'un kilogramme de fromage est 9,9 kg de lait.

Tableau 15 Classification des usines de traitement selon la grandeur

Grandeur	Production annuelle ($\times 10^6$ kg EL)	Débit quotidien (m^3/d)	DBO_5 (mg/L)	DBO_5 (kg/d)
Petite	6,8	55	2 400	132
Moyenne	40,9	330	2 400	792
Grande	136,4	1 100	2 400	2 650

Tableau 16 Récupération des protéines et traitement biologique : investissements totaux

	Investissements (1 000 $ par usine)			**Frais d'exploitation** (1 000 $ par usine)		
	Petite	Moyenne	Grande	Petite	Moyenne	Grande
Étang aéré	300	970	1 700	34	105	260
Boues activées	400	900	1 700	70	178	380

Tableau 17 Traitement biologique sans récupération de protéines : investissements totaux

	Investissements (1 000 $ par usine)			**Frais d'exploitation** (1 000 $ par usine)		
	Petite	Moyenne	Grande	Petite	Moyenne	Grande
Étang aéré	320	1 100	2 100	68	210	520
Boues activées	440	1 000	2 100	140	356	760

d'abord installer le prétraitement et ajouter plus tard le circuit d'épuration biologique finale. L'eau de prétraitement est presque limpide et ne contient pratiquement aucune matière en suspension. Ainsi, l'apparence des eaux réceptrices se trouve améliorée.

Les frais d'extraction de la boue lorsque l'étang est comblé ne sont pas inclus dans les frais de lagunage. Les résultats d'essais au Québec tendent à montrer que si les frais de «traitement des boues» sont inclus, les frais d'exploitation associés au lagunage valent ceux qui sont associés au procédé par boues activées. Bref, sur le plan des investissements et des frais d'exploitation, les procédés de lagunage et par boues activées sont semblables.

Tableau 18 Frais d'exploitation de l'étang aéré, du traitement par boues activées et de la récupération des protéines

	Frais d'exploitation ($/kg DBO_5 par usine)		
	Petite**	Moyenne***	Grande***
Étang aéré	1,66	0,86	0,63
Boues activées	3,42	1,45	0,93
Récupération des protéines*	1,39	0,46	0,25

* Protéines obtenues sous forme liquide; les recettes de la vente de ces protéines ne sont pas comptabilisées.
** Protéines non pasteurisées.
*** Protéines pasteurisées.

À cause de la grande superficie requise, le lagunage comporte davantage de contraintes que l'autre procédé, comme l'implantation et les conditions édaphiques et hydrogéologiques. Les coûts imprévisibles de ces contraintes n'ont pas été incorporés dans les calculs économiques qui sont présentés ici.

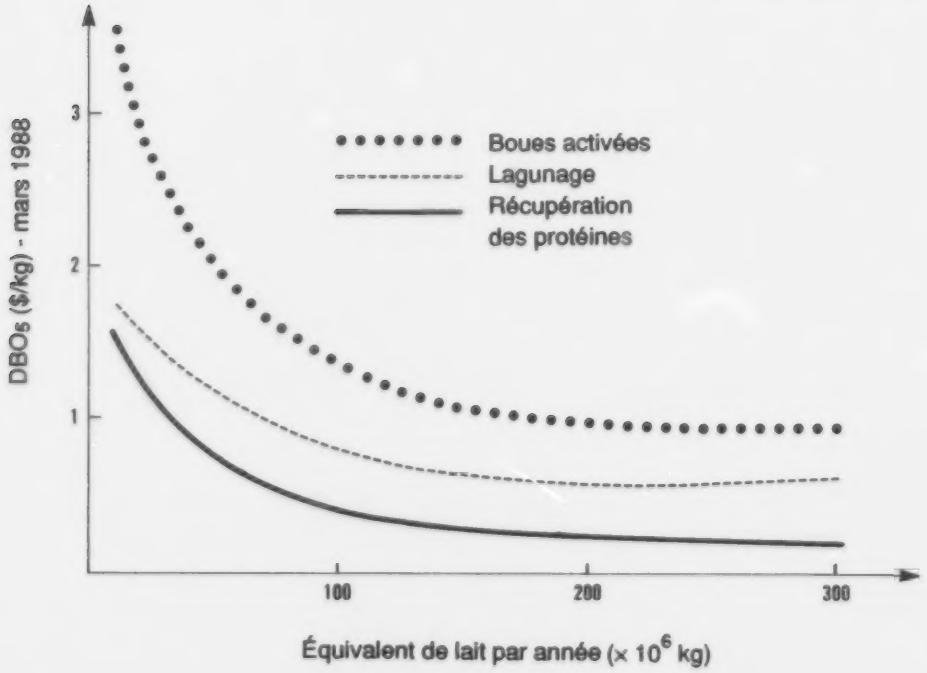


Figure 7 Comparaison des frais d'exploitation

Section 8

Applications du procédé

Le procédé est applicable à toutes les laiteries, peu importe qu'elles soient équipées ou non d'une installation classique de traitement ou qu'elles soient situées dans un pays industrialisé ou en voie de développement.

8.1 Pays industrialisés

Lorsque la laiterie existe, mais qu'elle n'a pas encore d'installation de traitement, ou encore qu'elle en ait, mais que cette dernière soit hydrauliquement surchargée, alors, la marche à suivre est la suivante :

1) Une étude technico-économique pour voir comment on peut réduire le volume de produits laitiers et d'eaux usées qui est déversé dans l'égout.

2) Obtenir les économies recommandées à l'étape 1.

3) Examiner les effluents qui ont été réduits à leur niveau le plus simple. Il est important d'utiliser les résultats de cet examen pour déterminer la quantité et la qualité des protéines récupérables chaque jour. En fait, l'examen classique permet la reconstitution d'un échantillon quotidien moyen pour la mesure de la quantité de protéines récupérables. Cette troisième étape révélera peut-être que l'installation existante de traitement n'est pas surchargée ou que la surcharge peut être différée. Autrement, on peut concevoir l'installation de récupération des protéines de manière à l'intégrer à l'usine de traitement en place ou prévue.

Lorsque l'élimination est assurée par déversement dans les égouts municipaux, le prétraitement est limité à une récupération des protéines. Il faut ajuster le pH de l'eau prétraitée, dont la valeur prédéterminée est comprise entre 4 et 5 selon les laiteries. Afin de neutraliser le pH (à 7), de l'hydroxyde de sodium est ajouté en concentration de 4 mg/L. Il n'est pas nécessaire de régler le pH, et la solution d'hydroxyde est simplement ajoutée à taux constant à l'eau prétraitée. Le débit et le pH sont constants.

Les investissements consacrés au système d'ajustement du pH sont limités à une pompe doseuse installée en parallèle avec la pompe qui alimente l'installation de récupération des protéines. Les dépenses annuelles en hydroxyde de sodium sont peu élevées : 75 $ pour une installation qui traite 120 m^3 d'effluent par jour et 750 $ pour une installation qui en traite 1 200 par jour.

8.2 Pays en voie de développement

L'application du concept de récupération des protéines dans les laiteries des pays en voie de développement est idéale, car ces dernières n'ont généralement pas été construites. La récupération des protéines permet de recycler un aliment noble. Elle permet aussi aux pays concernés d'économiser l'énergie, car les protéines animales se trouvent au sommet d'une chaîne trophique très élaborée. Cette ressource alimentaire inattendue qui provient des protéines récupérées aide en même temps à régler un problème écologique attribuable aux eaux usées de laiterie. Par

conséquent, il y a moins de limites au développement.

La situation observée dans les pays en voie de développement peut présenter des problèmes écologiques différents aux concepteurs des systèmes de récupération des eaux usées. Dans le cas des laiteries en pays chauds, il faut éviter le ruissellement des eaux usées jusqu'à l'égout. Il est possible d'éviter, le cas échéant, les débordements des cuves sanitaires à lait par l'installation de clapets de trop-plein reliés par conduites au secteur du traitement. Comme il n'y a pas d'hiver, une couche de micro-organismes peut survivre en permanence dans le sol, et ceux-ci pourraient être rendus virulents par la présence de lait renversé.

L'acide contenu dans l'eau de lavage peut aussi provoquer des problèmes. L'écoulement de cette eau finit par venir à bout des sols même les plus résistants, qui perdent toute valeur esthétique et abritent des microbes. Voilà pourquoi il faut retenir le plus possible les eaux usées de ces machines dans le secteur du prétraitement. On évite ainsi l'odeur déplaisante du lait caillé dans l'air.

Afin de ne pas trop dépendre d'acides utilisés pour le traitement* et qui ne sont pas disponibles sur le marché local, il faudrait ajouter au procédé de récupération des protéines un équipement complémentaire pour convertir une partie du lactose contenu dans les rejets sur place en acide lactique.

Pour un fonctionnement économique amélioré, les installations de la laiterie doivent être disposées de manière à ce que le lavage en milieu caustique se fasse en amont de la conduite en acier inoxydable qui sert à la récupération des eaux usées de l'usine. Ainsi, on peut exploiter une seconde fois les propriétés caustiques de la solution.

8.3 Récupération des protéines du lactosérum

Au prix de quelques modifications, l'installation décrite précédemment peut aussi servir à la récupération des protéines du lactosérum. Deux systèmes sont possibles, selon le volume de lactosérum et les débouchés pour les protéines extraites.

Si les protéines récupérées sont destinées à la consommation humaine, il vaut la peine d'installer un équipement de traitement du lactosérum muni d'un dispositif autonome de nettoyage en place (NEP).

Si les protéines récupérées sont destinées à la consommation animale, l'installation de récupération des protéines dans les eaux usées peut être utilisée séquentiellement. Une fois que les eaux usées de la laiterie ont été traitées, le lactosérum est acheminé vers l'installation, et le lactose vers une citerne appropriée d'emmagasinage. Pour la mise en oeuvre de cette méthodologie, il faut planifier adéquatement le travail dès le commencement et utiliser de l'équipement bien dimensionné, notamment le bassin de régularisation.

Les investissements nécessités par l'installation d'un système de récupération du lactosérum sont légèrement supérieurs à ceux d'un système de récupération des protéines contenues dans les eaux usées. Malgré cela, le système de récupération du lactosérum a un taux de dépréciation

---

* Chez Agrinove, l'acide sulfurique utilisé correspond à 90 % en poids des produits utilisés et à 60 % des dépenses à ce titre.

supérieur à l'autre parce que le lactosérum a une concentration de protéines nettement plus élevée que les eaux usées (l'équivalent de 8 000 mg/L par rapport à 600 mg/L). À débit égal, le traitement du lactosérum produit 13 fois plus de protéines que celui des eaux usées.

Dans le cas d'une installation capable de traiter 100 m^3 de lactosérum par jour, la ventilation des coûts s'établit comme suit : énergie, 0,12 $/kg; produits (N.E.P. compris), 0,07 $/kg; dépréciation, 0,12 $/kg; personnel, 0,08 $/kg; et entretien, 0,02 $/kg, soit un total de 0,41 $ par kg. Les données du tableau 18 indiquent que, pour un débit égal d'eaux usées, le coût de production d'un volume correspondant de protéines récupérées serait de 1,39 $/kg.

On a montré le bien-fondé économique de la concentration et de la récupération des protéines dans les eaux usées de laiterie. Par la même occasion, on a montré que le niveau d'efficacité qu'on peut atteindre par la réduction du volume des eaux usées est avantageux sur le plan économique comme sur le plan écologique.

Annexe

Distribution des débits d'eau par catégorie de produit fabriqué*

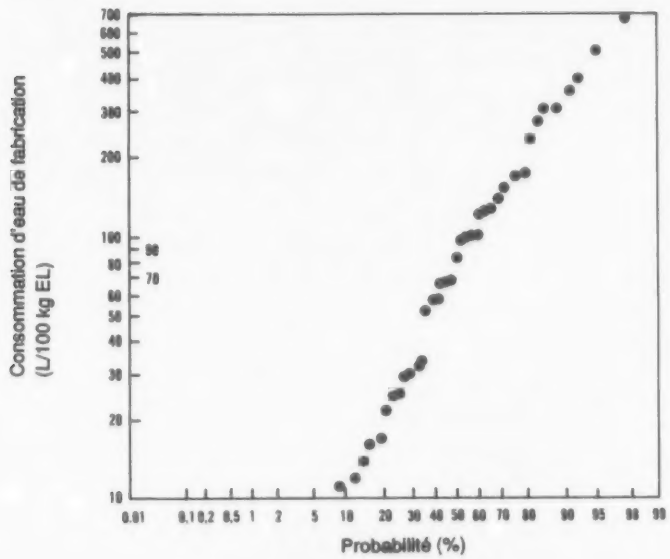


Figure A **Distribution de la consommation d'eau dans une laiterie (EL = équivalent de lait)**

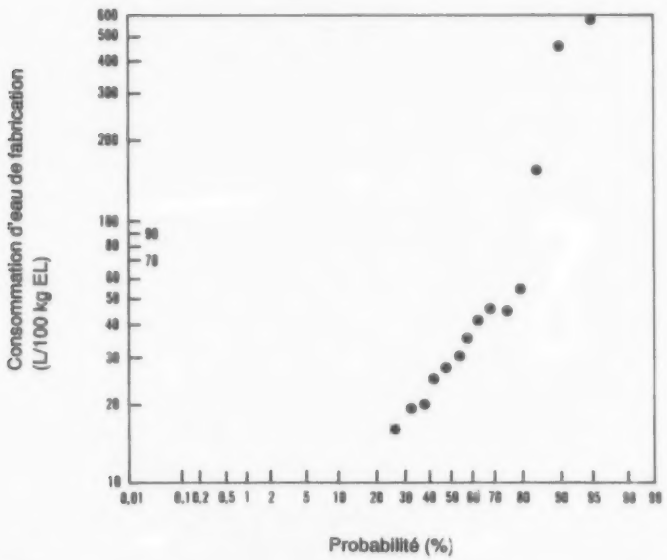


Figure B **Distribution de la consommation d'eau dans une beurrerie**

* Source : D. W. Bissett, P. Ing., Environnement Canada, Protection de l'environnement.

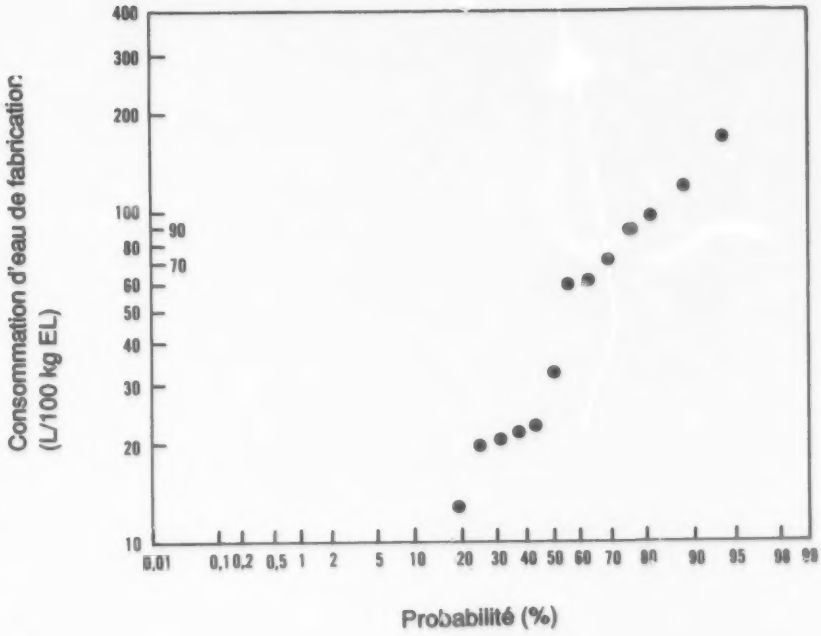


Figure C **Distribution de la consommation d'eau dans une fromagerie**

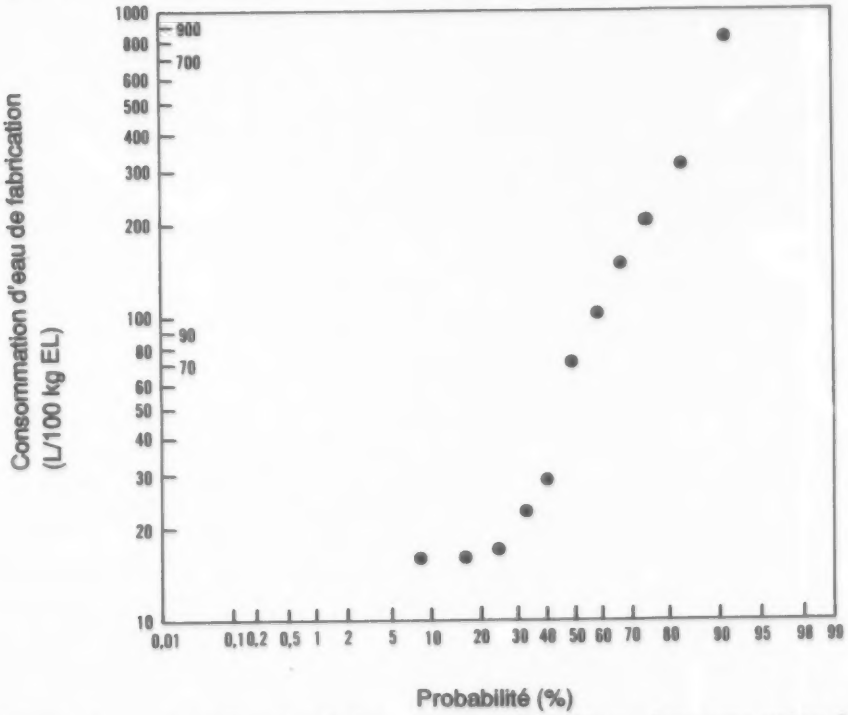


Figure D **Distribution de la consommation d'eau dans une usine de fabrication de crème glacée et de desserts congelés**

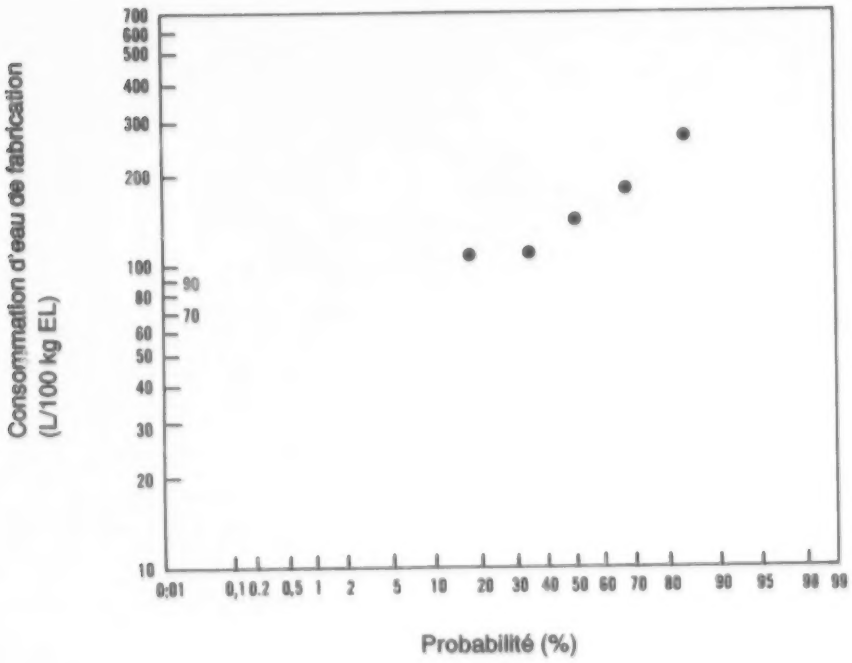


Figure E **Distribution de la consommation d'eau dans une usine de préparation de produits condensés ou évaporés**